

THÈSES

présentées à la

FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE NANCY

pour obtenir

le grade de Docteur ès Sciences (Naturelles)

par

Jacques PERRIAUX

Agrégé de l'Université

Chef de Travaux à la Faculté des Sciences

PREMIERE THESE :

« Contribution à la Géologie des Vosges Gréseuses »

DEUXIEME THESE

Propositions données par la Faculté

Soutenues publiquement le

1961 devant la Commission d'examen

JURY :

MM. M. ROUBAULT	Président.
J. BOLFA	} Examineurs.
J. HILLY	
G. MILLOT	
	Invité.

THÈSES

présentées à la
FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE NANCY
pour obtenir
le grade de Docteur ès Sciences (Naturelles)

par
Jacques PERRIAUX
Agrégé de l'Université
Chef de Travaux à la Faculté des Sciences

PREMIERE THESE :

« Contribution à la Géologie des Vosges Gréseuses »

DEUXIEME THESE

Propositions données par la Faculté

Soutenues publiquement le

1961 devant la Commission d'examen

JURY :

MM. M. ROUBAULT	Président.
J. BOLFA	} Examineurs.
J. HILLY	
G. MILLOT	
	Invité.

UNIVERSITÉ DE NANCY — FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen : M. ROUBAULT

Assesseur : M. WAHL

Doyens honoraires : MM. CORNUBERT, DELSARTE, URION.

Professeurs honoraires : MM. GUTTON, CROZE, RAYBAUD, LAFFITTE, LERAY, JOLY, LAPORTE, EICHHORN, CAPELLE, GODEMENT, DUBREIL, L. SCHWARTZ, DIEUDONNE, de MALLEMANN, LONGCHAMBON, LETORT, DODE, GAUTHIER, GOUDET, OLMER, CORNUBERT, CHAPELLE, GUERIN, CHEVALIER, REMY.

Maitres de conférences honoraires : MM. RAUX, LIENHART.

Professeurs

MM. URION	Chimie biologique	FRUHLING	Physique
DELSARTE	Analyse supérieure	LIONS	M. M. P.
ROUBAULT	Géologie	SUHNER	Physique exp.
VEILLET	Biologie animale	HILLY	Géologie
ECHEVIN	Botanique	LE GOFF	Génie chimique
WAHL	Chimie Org. Industr.	CHAPON	Chimie biologique
BARRIOL	Chimie théorique	HEROLD	Chimie industr.
BIZETTE	Physique	SCHWARTZ	Exploit. minière
GUILLIEN	Electronique	GAYET	Physiologie
GIBERT	Chimie Physique	MANGENOT	Phytopathologie
HERVE	Calcul diff. et Int.	MALAPRADE	Chimie
LEGRAS	Mécanique rationnelle	HADNI	Physique
DAVID	Chimie organique	DELAMARE-DEBOUTEVILLE	Zoologie
BOLFA	Minéralogie	BONVALET	Mécanique physique
NICLAUSE	Chimie	BRUHAT	Mathématiques gén.
FAIVRE	Physique appliquée	Me ROIZEN	Physique
AUBRY	Chimie minérale	KERN	Minéralogie
DUVAL	Chimie	BASTICK	Chimie
COPPENS	Radiogéologie		

Maitres de conférences

MM. WERNER	Botanique	CLIN	Paléontologie
GARNIER	Agronomie	ROCCI	Géologie
REGNIER	Physico-chimie	WEISS	Physique M. P. C.
WEPPE	Minéralogie appli.	Me BASTICK	Chimie M. P. C.
BERNARD	Géologie	VUILLAUME	Psychophysiologie
ARAGNOL	Mathématiques (prop.)	PLAN	Mathématiques
RENARD	Physique théo. et nuc.	GUDEFIN	Physique
CONDE	Zoologie	MARI	Chimie I. S. I. N.
GOSSE	Génie chimique	LAFON	Physique I. S. I. N.
CHAMPIER	Physique	HORN	Physique
GAY	Chimie biologique	PIERRET	Maitre de conf. adj.

Secrétaire : M. CARON



A mes Maîtres successifs :

Mon Père,
M. le Professeur Maurice GIGNOUX,
M. le Professeur Léon MORET,
M. le Professeur Léon LUTAUD,
M. le Professeur Jacques BOURCART,
M. le Professeur Marcel ROUBAULT.

En hommage d'affection et de respect.

SOMMAIRE

	Pages
Avant-propos	v
Introduction	1
Historique de la géologie des Vosges gréseuses	3
<i>Première partie : ETUDE STRATIGRAPHIQUE</i>	7
Chapitre I — Le Permien	9
Chapitre II — Le Buntsandstein	15
Chapitre III — Le Grès coquillier, base du Muschelkalk	95
<i>Deuxième partie : ETUDE SÉDIMENTOLOGIQUE</i>	113
Chapitre I — Etude granulométrique des sédiments du Permien et du Buntsandstein.	117
Chapitre II — Etude des galets	129
Chapitre III — Etude des sables	153
Chapitre IV — Etude des stratifications	167
<i>Troisième partie : ETUDE PALÉOGÉOGRAPHIQUE</i>	181
Chapitre I — Le climat au Permien et au Trias inférieur	183
Chapitre II — Seuil vosgien et Bassin rhénan au Trias	191
Chapitre III — Paysage de l'Est de la France à l'époque du Permien et du Buntsandstein	197
Bibliographie	203
Index géographique	217
Table des figures	221
Table des tableaux	223
Table analytique des matières	225

AVANT-PROPOS

C'est à un heureux concours de circonstances que je dois d'avoir entrepris ce travail : au printemps de l'année 1954, j'étais jeune professeur agrégé de Sciences naturelles au lycée Henri-Poincaré; sur le conseil de M. GOGUEL, directeur du Service de la Carte géologique de la France, qui m'avait nommé collaborateur auxiliaire après avoir pris connaissance de mon Diplôme d'Etudes supérieures sur la Région niçoise, j'allais voir M. Marcel ROUBAULT, directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de l'Université de Nancy, et je me mis à sa disposition pour d'éventuels levés géologiques. D'emblée, M. ROUBAULT me proposa non seulement une feuille à lever, mais aussi un poste d'Assistant dans son Laboratoire et le sujet du travail que je présente aujourd'hui : l'étude des vastes nappes de grès et de cailloutis qui ceignent le Massif des Vosges; j'acceptai d'enthousiasme les trois propositions, et j'entrai ainsi dans une équipe bien connue pour son dynamisme.

Si j'ai pu, malgré les difficultés rencontrées en chemin, conduire ce travail à son terme, c'est, je ne l'oublie pas, grâce aux Maîtres qui m'ont formé et dont la sollicitude ne m'a jamais abandonné.

Mon père d'abord, lui-même géographe, qui m'a donné tout à la fois le goût des longues randonnées en montagne et l'habitude d'observer la nature autrement qu'en esthète. Sa vaste érudition, sa large culture qui ont aiguisé en moi de bonne heure la curiosité des Sciences de la Terre, la rigueur du savant, ont été et sont toujours pour moi un exemple que je me suis efforcé de suivre.

MM. les Professeurs Maurice GIGNOUX et Léon MORET, membres de l'Académie des Sciences, que j'eus le privilège de pouvoir écouter et admirer au cours de mes années de Licence à l'Université de Grenoble. A la mémoire de l'un, je reste pieusement attaché, en élève qui ne cessa jamais de trouver auprès du Maître conseils et encouragements, et ce, jusqu'à la veille de sa mort. A M. le Doyen MORET, je tiens à dire ici quel charme eurent pour moi ses leçons et combien il m'est agréable de retrouver chaque jour sa marque dans l'enseignement de Paléontologie qui m'est dévolu à Nancy : c'est lui qui le premier m'initia à cette science et me la fit aimer.

Mon Diplôme d'Etudes Supérieures me donna l'occasion de me placer sous la bienveillante autorité de MM. Léon LUTAUD et Jacques BOURCART, Professeurs à la Sorbonne. Au premier, je dois l'enchantement de conférences sur tous les grands problèmes géologiques, exposés avec cet humour charmant dont il ne se départit jamais. Quant à M. le Professeur Jacques BOURCART, Membre de l'Institut, par ses vastes connaissances dans les domaines de la Sédimentologie et de l'Océanographie, il m'a apporté une formation précieuse non seulement pour l'étude que, jeune étudiant, j'ai publiée sur « Les Formations pliocènes des Alpes maritimes », mais encore actuellement, pour le travail que je présente ici.

M. le Doyen Marcel ROUBAULT, Membre Correspondant de l'Institut, qui dirige avec tant de libéralisme et d'autorité le grand Complexe géologique de Nancy, fleuron de l'Université lorraine, a su mettre à la disposition des chercheurs des conditions incomparables de travail grâce à la parfaite organisation de ses Services et de ses Laboratoires; ses magistrales études sur le granite sont universellement admirées et constituent pour tous un modèle inégalé. Je ne saurais trop redire combien je lui suis reconnaissant d'avoir bien voulu s'intéresser à mes recherches et me fournir les moyens qui m'ont permis de les mener à bien. Je ne peux passer sous silence en particulier les nombreuses analyses chimiques rendues possibles grâce à l'équipement scientifique dont disposent les chercheurs de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière, et dûes à la complaisance et à la compétence en ce domaine de M. de LA ROCHE, Maître de Recherches au C. N. R. S. et Sous-Directeur du Centre de Recherches pétrographiques et géochimiques de

Nancy. Je n'oublie pas non plus M. GOVINDARAJU, Chef de la Section de Quantométrie et d'Analyses de traces au C. R. P. G., M. BEHR et M^{me} BLANCHET, Chefs de la Section de Chimie.

M. le Professeur Georges MILLOT, Directeur de l'Institut de Géologie de Strasbourg, m'a apporté le concours de son autorité mondialement reconnue dans le domaine de la Géochimie des Minéraux argileux et de la silice. Il m'a libéralement ouvert son Laboratoire et je dois à son obligeance et à la compétence de M. J. LUCAS les analyses d'argiles et de paléosols que je présente dans cette étude. Il m'a généreusement offert de publier mon travail dans les Mémoires du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine qu'il dirige. Il m'a apporté un soutien efficace, amical et constant.

J'ai retrouvé même obligeance et même compétence auprès de tous les géologues de Strasbourg, notamment auprès de M. von ELLER, si hospitalier, de M. et M^{me} SITTLER, de MM. COGNÉ, RUHLAND, DUNOYER de SEGONZAC; auprès de M. GRAUVOGEL, industriel à Saverne, que sa passion de la Recherche a amené à découvrir dans les Grès bigarrés une faune jusqu'alors inconnue. Il a bien voulu, avec une érudite affabilité, commenter devant moi les pièces rares de son admirable musée qui renouvelle notre connaissance de la Vie à l'Epoque triasique; auprès de M^{me} G. DUBOIS qui m'a très aimablement donné accès aux minutes des cartes géologiques au 80 000^e de Colmar et de Mulhouse, me permettant ainsi de poursuivre mon travail dans la Haute Alsace; auprès de M. SCHIRARDIN enfin, dont je n'oublie pas le bienveillant accueil et qui m'a fait bénéficier, avec sa générosité coutumière, de sa connaissance parfaite de l'Alsace; tout au long de mes recherches sur le versant alsacien des Vosges il m'a soutenu de ses conseils.

M. le Professeur Jean TRICART, Directeur de l'Institut de Géographie de Strasbourg, a bien voulu me consacrer plusieurs journées afin d'examiner, sur le terrain même, mes premières conclusions et, vers la fin de mes travaux, critiquer les résultats de mes recherches de sédimentologie, me fournissant ainsi un ultime encouragement.

M^{me} GUBLER, Directeur de la Division Sédimentologie de l'Institut Français du Pétrole, m'a admis à un stage d'étude dont j'ai retiré grand profit; M. VATAN, Chef du Laboratoire de Sédimentologie de l'I. F. P., m'a initié à l'étude des minéraux lourds dont il est un Maître incontesté. Les entrevues que j'ai pu avoir avec l'un et avec l'autre, à l'occasion de divers Congrès et Colloques, m'ont fait bénéficier de conseils judicieux et de précieux encouragements.

M. le Professeur Nicolas THÉOBALD a bien voulu mettre à ma disposition sa parfaite connaissance de la région de Luxeuil et de Lure; il m'a conduit personnellement sur des affleurements que j'ignorais et dont l'étude m'a été très utile; par les discussions passionnantes que nous eûmes, il m'a poussé à étayer mes hypothèses par des faits solides.

A M. le Professeur Jacques AVIAS je suis reconnaissant de m'avoir apporté les premiers conseils.

Par ses avis judicieux et son indéfectible amitié, M. le Professeur Charles DELATTRE fut pour moi un soutien efficace.

Les remarquables études stratigraphiques de M. le Landesgeologe Dr. E. MÜLLER m'ont fourni une solide base de départ. Les fréquents contacts que nous avons eu sur le terrain, tant en Sarre qu'en Lorraine, m'ont permis de profiter tout à la fois de sa connaissance du Buntsandstein, de la précision de ses observations et de sa vaste expérience. Par son intermédiaire je suis entré en relation avec les géologues de l'« Arbeitsgemeinschaft Buntsandstein der geologischer Landesämter der Deutschen Bundesrepublik »; sur leur demande j'ai guidé en Lorraine leur excursion annuelle : elle fut l'occasion de fructueux échanges de vue, en particulier avec MM. le Prof. Dr. E. BECKSMANN de Fribourg-en-Brisgau (qui a bien voulu par la suite m'accueillir chez lui et me faire connaître le Buntsandstein de la Forêt Noire), le Prof. Dr. G. RICHTER-BERNBURG et le Dr. H. BOIGK de Hanovre, l'Abt. Direktor Dr. E. SCHRÖDER de Crefeld, le Dr. O. ATZBACH de Mayence, le Dr. P. CRAMER de Munich, le Dr. F. RÖSING et le Dr. M. LAEMMLEN de Wiesbaden, le Dr. KLINKAMMER de Sarrebruck. Invité à participer à leur excursion en Hesse et en Bavière, j'ai pu visiter de magnifiques affleurements de Buntsandstein et effectuer des comparaisons intéressantes avec les mêmes niveaux des Vosges; ce me fut aussi l'occasion de faire la connaissance de MM. le Prof. Dr. F. KUTSCHER, le Dr. KULICK, le Dr. HORN, le Dr. KUPFAHL, et de Fräulein Dr. R. MOTZKA de Wiesbaden et de discuter avec eux de mes problèmes, leur apportant une lumière nouvelle.

Je dois aussi beaucoup aux divers géologues français et étrangers que j'ai eu l'honneur de rencontrer ces dernières années dans les Colloques et Congrès de Sédimentologie auxquels il m'a été donné d'assister.

Je m'en voudrais pourtant de ne pas nommer ici M. le Professeur BERSIER, Directeur du Musée Géologique de Lausanne, dont les excellents travaux sur la molasse suisse m'ont ouvert des horizons nouveaux pour l'étude paléogéographique des grès du Trias inférieur Vosgien et j'ai trouvé grand profit à suivre l'excursion qu'il a dirigée dans la molasse vaudoise.

Dans le domaine du Paléomagnétisme, je suis heureux de pouvoir remercier M. le Professeur E. THELLIER, Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris qui a mis à notre disposition les

appareils de son Laboratoire à l'Observatoire du Parc Saint-Maur, M. le Professeur A. ROCHE qui a bien voulu se charger de l'exécution des mesures, M. le Professeur A.E.M. NAIRN qui fit des mesures semblables au King's College de l'Université de Durham.

Dans leur Laboratoire de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts, M. le Professeur Philippe DUCHAUFOR et son Assistant M. BONNEAU ont très obligeamment effectué sur mes échantillons présumés de sols fossiles des analyses quantitatives de carbone organique et d'azote qui me furent d'une incontestable utilité.

Bien que bryologue à l'origine, M. G. GARDET, par l'éclectisme de son savoir, a acquis dans le domaine de la géologie lorraine un renom mérité. Ses levés géologiques, minutieux et précis jusqu'à la perfection, ont été le point de départ de mon étude stratigraphique de la région de Bruyères et l'intérêt qu'il a porté à mes travaux m'a aidé de façon fort heureuse.

Au Service Géologique des Houillères du Bassin de Lorraine dirigé par M. GUERRIER, à M. BALCON, Géologue en Chef à la Compagnie Royale Asturienne des Mines et à M. DELAUNAY, Ingénieur-Géologue à cette Société, je dois d'avoir eu accès à des carottes de forages de la région de Saint-Avold et leur en suis reconnaissant.

Enfin, « last but not least... », les Nancéiens, MM. les Professeurs J. BOLFA, R. COPPENS, J. HILLY, A. BERNARD, MM. CLIN et ROCCI, Maîtres de Conférences, M. de la ROCHE, Maître de Recherche au C.N.R.S., MM. JURAIN, LAUGIER, GODARD, NICOLAS, DEMASSIEUX, LE GUYADER, GAUTHIER, NOIRÉ, MERRY, GOVINDARAJU, furent pour moi des interlocuteurs bienveillants et certains de bons compagnons de recherche.

A eux, et à tous ceux dont le travail permit la réalisation matérielle de cet ouvrage, j'adresse ici l'expression de ma gratitude la plus sincère.

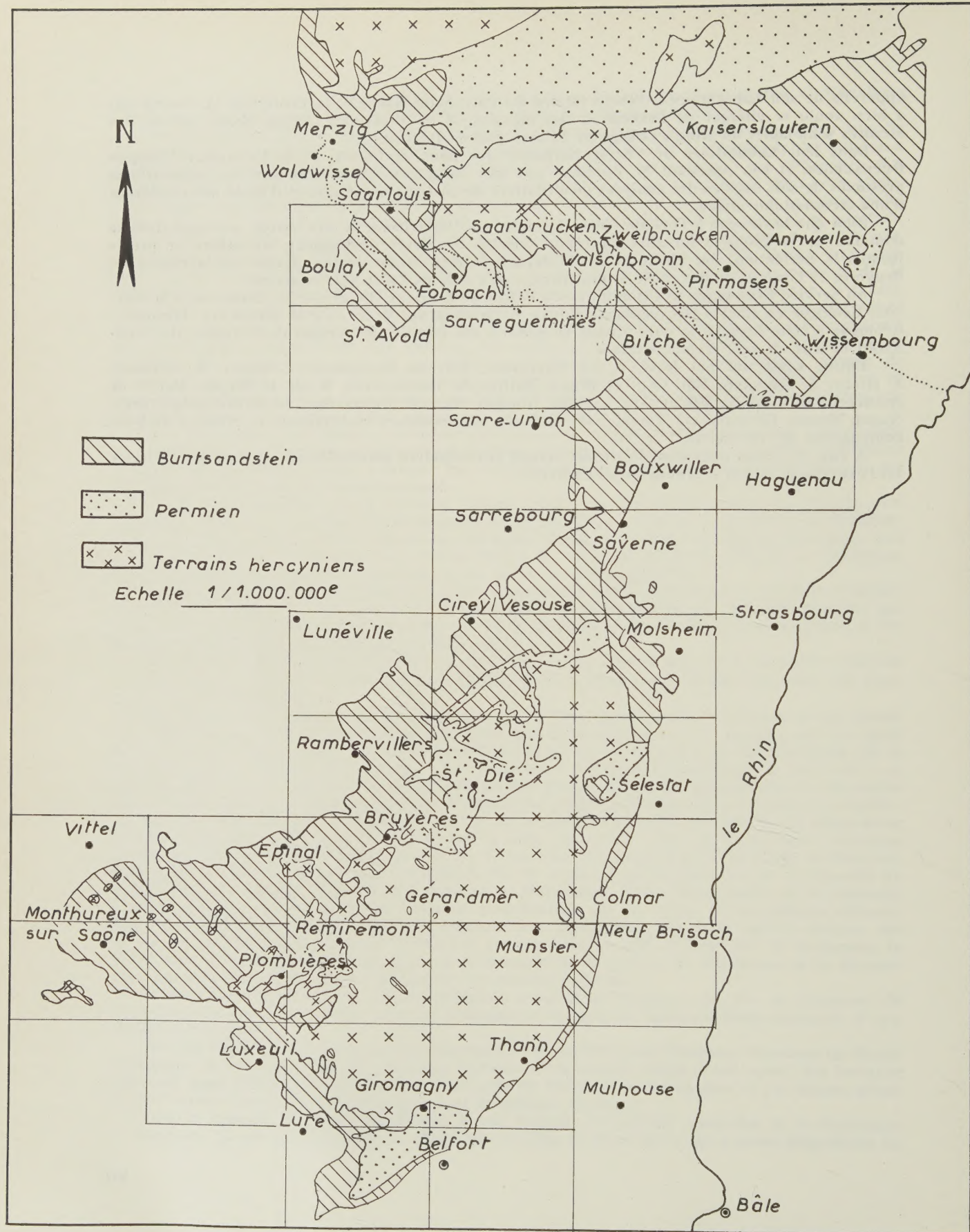


FIG. 1. — Vosges Gréseuses, Palatinat et Sarre :
carte des principales localités, découpage cartographique et esquisse géologique générale.

INTRODUCTION

Lorsque M. le Professeur Marcel ROUBAULT me proposa d'étudier les formations gréseuses de l'Est de la France, les *limites géographiques* de cette étude découlèrent du cadre naturel : ceinturant les Vosges Hercyniennes, les Vosges Gréseuses s'étalent en une large bande, continue en Lorraine, discontinue en Alsace, largement déployée au Nord dans le Palatinat et dans la Sarre (fig. 1). Ces deux dernières provinces ayant été étudiées avec minutie par les auteurs allemands, j'ai borné mon champ d'étude aux Vosges; mais je fis cependant de fréquentes incursions en Allemagne, tant pour y assimiler le détail d'une stratigraphie parfaitement mise au point, que pour y poursuivre les études sédimentologiques entreprises dans les Vosges.

A l'opposé, vers l'extrême Sud, j'ai rapidement étudié le Massif de la Serre, à titre de comparaison avec les Vosges et pour y chercher un éventuel jalon sur la voie d'accès des matériaux vosgiens.

Dans l'esprit de mon Maître, comme dans le mien, il semblait de prime abord que cette étude dût être essentiellement tournée vers la sédimentologie et nous conduire à une reconstitution paléogéographique des Vosges.

Mais cette *étude sédimentologique* nécessitait un *cadre stratigraphique* précis que j'ai cherché en vain dans les travaux français; je fus obligé de constater que le Trias inférieur lorrain ne semblait pas avoir beaucoup intéressé les chercheurs modernes puisque nos connaissances à son sujet n'ont pas avancé depuis la dernière édition du traité d'A. de LAPPARENT (1906).

Je me suis donc tourné vers les travaux allemands qui m'ont fourni une échelle stratigraphique détaillée, établie dans le Palatinat et en Sarre; cette échelle, j'ai cherché à la transposer dans les Vosges Gréseuses et c'est ainsi que je fus poussé fort avant dans une étude stratigraphique que je ne comptais primitivement pas mener.

Je l'ai faite dans un esprit particulier : ne pas répéter ce qui était déjà connu, m'attacher à ce qui avait été négligé jusqu'alors et, surtout, créer l'indispensable outil qui manquait et dont l'absence m'empêchait de mener l'étude sédimentologique et paléogéographique avec toute la précision et le sérieux désirables.

Stratigraphie, sédimentologie, paléogéographie s'éclairent en effet mutuellement et sont inséparables; ce n'est que pour la clarté de l'exposé que j'ai réparti cette étude en chapitres distincts.

Dans la **première partie**, consacrée à l'étude stratigraphique, le *Permien* est rapidement présenté parce qu'il constitue le soubassement du Buntsandstein dont la limite inférieure devait être établie et parce qu'il participe de façon non négligeable à la constitution des Vosges Gréseuses.

En revanche, le *Buntsandstein* forme l'essentiel de cette étude stratigraphique; si, dans cette série, les principales formations : Grès d'Annweiler, Grès vosgien, Conglomérat principal, Couches intermédiaires et Grès à Voltzia étaient déjà connues, leurs limites n'ont jamais été précisées; cette question étant primordiale, j'y ai apporté toute mon attention et une part importante de cet exposé lui est consacrée. Et c'est parce qu'elle est ici intimement mêlée à l'étude sédimentologique que *cette connaissance précise des limites inférieure et supérieure de chaque formation* m'a permis de démontrer l'appartenance du Grès d'Annweiler au Trias et non au Permien, du Conglomérat principal et de la Zone-Limite-Violette au groupe du Buntsandstein moyen et non à celui du Buntsandstein supérieur et de séparer le Grès à Voltzia continental du Grès coquillier marin.

Enfin dans toutes ces formations j'ai établi des subdivisions dont l'importance est grande, car elle permet une connaissance plus précise et plus poussée de cette série gréseuse qui, pour le seul Trias inférieur, peut atteindre une épaisseur de 500 mètres; de telles subdivisions existaient déjà pour le Buntsandstein de la Sarre et du Palatinat : c'est donc sur elles que je me suis aligné et c'est la terminologie allemande que j'ai adoptée en la traduisant et en l'adaptant à notre région, toutes les fois que ce n'était pas déjà fait.

La deuxième partie, consacrée à la Sédimentologie, n'a pas non plus été entreprise comme une fin en soi, mais comme le moyen de reconstituer la Paléogéographie des Vosges au Permien et au Trias inférieur et aussi pour résoudre certains problèmes soulevés par l'étude stratigraphique (comme la comparaison des galets du Conglomérat principal et des Couches intermédiaires, ou la comparaison de la fraction sableuse du Permien, du Grès d'Annweiler et du Grès vosgien...).

Dans l'*Introduction* de cette deuxième partie (p. 115), j'ai exposé le choix des méthodes employées et présenté le fil directeur qui nous conduit.

Dans la troisième et dernière partie, sont rassemblées en un tout cohérent les conclusions qui découlent des deux parties précédentes et les études très particulières du Paléomagnétisme et du Paléoclimat.

De cette façon je pense avoir réussi à présenter la véritable image des Vosges Gréseuses au Permien et au Trias inférieur.

Tout au long de ce mémoire, j'ai sélectionné avec soin les coupes des carrières citées; je l'ai fait non en fonction du caractère exceptionnel qu'elles pourraient présenter mais pour illustrer de façon particulièrement claire un fait général, observé en de nombreux endroits, et dont je tenais à donner un exemple au moyen d'un affleurement particulièrement facile d'accès; dans le même esprit chaque coupe a été relevée à l'endroit le plus représentatif et le mieux conservé de la carrière en question.

Chaque affleurement cité a été localisé de la façon suivante :

- d'abord dans un cadre général, au moyen de la carte topographique de la France au 1/50 000 dont le canevas régional a été reproduit sur la figure 1 et sur la planche II;
- ensuite par l'indication de la commune sur le territoire de laquelle se trouve cet affleurement;
- enfin de façon plus précise en situant l'affleurement par rapport à l'église de l'agglomération (ex. : 0,5 km NW) et en indiquant les coordonnées Lambert (I zone Nord ou II zone Centrale; un astérisque signale quand les coordonnées ont été mesurées sur des cartes où l'ancien carroyage Lambert (zone Nord de guerre) était seul inscrit).

Tous les échantillons étudiés ainsi que toutes les lames minces ont été déposées à l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée et de Prospection Minière de l'Université de Nancy où ils seront toujours accessibles.

HISTORIQUE

DE LA GÉOLOGIE DES VOSGES GRÉSEUSES

C'est en Allemagne qu'il convient de rechercher les précurseurs : ce pays fut en effet le berceau de la Géologie du Permien et du Trias — à juste titre nommé plus tard « *germanique* » — et à l'origine aussi de la plupart des noms qui désignent ces diverses formations : c'est en effet G. FÜCHSEL (1761) qui décrivit pour la première fois les grès permien ; ils furent appelés « *Todte Liegende* », c'est-à-dire « *couches azoïques* » et par la suite « *Rothliegende* », nom sous lequel ces grès sont actuellement connus.

De même c'est à un Allemand, WERNER, que l'on doit le nom de « *Bunter Sandstein* » : le Grand-Maître de l'Ecole de Freiburg désigne ainsi, dès le début du XIX^e siècle, le grès qu'il a coutume d'observer tout au long de la rive droite du Rhin ; cette appellation est évidemment employée par ses élèves REUSS (1805) et FREISLEBEN (1809, t. 1, p. 13) notamment, et aussi par HEIM (1806), bien que celui-ci n'appartienne pas à l'Ecole de Freiburg.

Mais c'est HEIM (1806) qui le premier, en décrivant de façon magistrale la constitution du sous-sol de Thuringe, distingue clairement les principales formations grésocalcaires du Permien-Trias. Nous devons remarquer ici que ces formations gréseuses sont, dès le départ, décrites correctement et sans confusions ; cela tient sans doute à ce qu'elles sont bien individualisées : il ne se produisit en effet à leur sujet aucune des confusions qui eurent lieu à propos des formations calcaires d'âges divers, mais semblables entre elles, comme celles du Muschelkalk, du Keuper et du Lias, dont la distinction ne fut établie que lorsque la Paléontologie stratigraphique fut réellement entrée dans les mœurs, c'est-à-dire vers 1830, après que les remarquables travaux de SCHLOTHEIM (1813, 1820, 1823) eurent porté leurs fruits.

Enfin, c'est F. von ALBERTI qui, en 1834, crée le terme de « *Trias* » pour englober en un unique ensemble le « *Bunter Sandstein* », le « *Muschelkalk* » et le « *Keuper* » (p. 324).

Les français cependant ne restent pas inactifs puisque, dès la fin du règne de Louis XV, les savants de l'époque reçoivent du Gouvernement mission d'explorer toute la France au point de vue minéralogique et de publier des cartes et des descriptions des diverses provinces : c'est ainsi que J. GUETTARD (1778) en collaboration avec A. LAVOISIER publie quelques observations sur la concession de houille de Saint-Hippolyte.

Mais le premier travail d'ensemble sur les Vosges Gréseuses est dû à MONNET : dans son « *Atlas Minéralogique de la France* » (1780), ce précurseur distingue les granites et les gneiss d'une part, et au-dessus, les couronnant, les « Grès Rouges » qui forment le sommet de bien des montagnes. La description détaillée des carrières et des affleurements, d'une scrupuleuse exactitude, constitue un modèle de précision et de clarté qui fera autorité jusqu'à ce que L. ELIE de BEAUMONT nous gratifie de ses remarquables études (1828-1829 et 1841).

Mais entre ces deux auteurs, il en est quelques autres dont les travaux plus restreints, et de moindre portée, méritent cependant d'être retenus : c'est ainsi qu'en 1782, DE SIVRY, avocat au Parlement de Nancy, publie sous l'impulsion de la Société Royale des Sciences, Belles Lettres et Arts de Nancy le « *Journal des observations minéralogiques faites dans une partie des Vosges et de l'Alsace* ». Le livre constitue une description agréable des sites parcourus et des terrains foulés : l'auteur brosse un tableau minéralogique des roches rencontrées au cours de son voyage

à travers toutes les Vosges et l'Alsace, de Belfort à Bouxwiller et de Strasbourg à Saint-Dié : granite, pierres de sable remplies ou non de galets mêlés à de l'argile boliaire, calcaires, etc...; il décrit de-ci, de-là quelques carrières (Wasselonne) ou quelques sites (Donon, Dabo, Lichtenberg, La Petite Pierre...). Citons aussi, établie par DUPAIN TRIEL en 1784, la « *Carte Minéralogique de la France* », où sont marqués les différents terrains principaux qui partagent le Royaume et les substances particulières qu'il renferme, dressée d'après les observations de M. GUETTARD, de l'Académie des Sciences » ; cette carte est intéressante par les renseignements qu'elle fournit sur notre région ainsi que par son style et sa facture. Citons aussi Ph. DE DIETRICH (1789) et S. DÉODAT DE DOLOMIEU (1798).

Il convient de rapporter ici le grand mérite de MERIAN (1820) d'avoir établi un parallèle entre les formations gréseuses des deux rives du Rhin et d'avoir placé dans le Buntsandstein celles de la rive gauche, jusqu'alors décrites sous leur aspect touristique-géographique et minéralogique, mais sans que les auteurs se soient jamais souciés de les avoir « cataloguées » géologiquement.

En 1823, l'Alsacien E. VOLTZ dénomme « *Grès des Vosges* » la formation que nous connaissons encore aujourd'hui sous ce nom, ou sous celui voisin de *Grès vosgien*, mais il place le « *Grès des Vosges* » au sommet du Rothliegende, c'est-à-dire du Permien, bien que, par tous leurs caractères, ces deux formations s'opposent l'une à l'autre.

En 1822, COQUEBERT DE MONTBRET publie, en collaboration avec D'OMALIUS D'HALLOY un « *Essai d'une Carte Géognostique de la France* » sur laquelle, il faut bien le dire, les grandes unités géologiques ne sont représentées que très globalement et sans souci du détail et de la précision.

C'est en 1822 encore que le Gouvernement français, sous l'impulsion de l'Administration des Mines, ordonne l'exécution d'une Carte Géologique de la France, ainsi que l'élaboration de descriptions géologiques et minéralogiques des divers départements du territoire français. Cette « *Carte Géologique de la France* » placée sous la direction de BROCHANT DE VILLIERS est levée par A. DUFRENOY et L. ELIE DE BEAUMONT à qui échoit en partage la partie orientale de la France.

Et c'est ainsi que, dès 1823, les travaux d'ELIE DE BEAUMONT sont déjà cités par DE HUMBOLT dans son « *Essai géognostique sur le gisement des Roches dans les deux hémisphères* » (p. 275) et qu'en 1827-1828, ELIE DE BEAUMONT publie ses « *Observations géologiques sur les différentes formations qui, dans le système des Vosges, séparent la formation houillère de celle du Lias* » : cet auteur distingue parmi les formations gréseuses deux catégories essentielles :

- en haut le « *Grès bigarré* » qui passe, à son sommet, au *Muschelkalk* ;
- en bas le « *Grès des Vosges* » qui, dans certains bassins, passe à sa base à un « *Grès rouge* » à éléments anguleux, intercalé entre de nombreux lits d'argile et que nous appelons aujourd'hui *Grès Permien*. (*Rothliegende* des auteurs allemands). Nous aurons, à maintes reprises, à citer cet auteur et notamment ses « *Observations géologiques...* ».

Dans le même temps, trois géologues allemands : VON OEYENHAUSEN, VON DECHEN et VON LA ROCHE publient le compte rendu de leurs travaux sur les deux rives du Rhin (1825) ; ces travaux portent essentiellement sur les formations que nous nommons aujourd'hui hercyniennes, mais aussi sur les Grès Rouges et les Porphyres de notre actuel Permien, ainsi que sur le Grès des Vosges. Une partie de l'ouvrage fut traduite par GAUDEL, Pharmacien à Bruyères et publiée en français en 1837 : c'est celle qui concerne toutes les formations antérieures au Grès des Vosges dans toute la région des Vosges et de l'Alsace, depuis Lutzelhouse et Schirmeck jusqu'à Saint-Dié, Giromagny et Faucogney ; notre Permien est situé en ses divers bassins et le Grès des Vosges qui le couronne, est évoqué ; ce qu'il convient de noter dans cet ouvrage, c'est le souci de mettre en parallèle les formations semblables qui sont situées de part et d'autre du Rhin et de faire ressortir de façon précise leur liaison intime.

Cette publication et les travaux de L. ELIE DE BEAUMONT constituèrent le point de départ d'une série d'études régionales telles que celles de E. VOLTZ (1828-1833), de H. HOGARD (1835, 1837, 1845, 1846), de ROZET (1834, 1837), de E. THIRIA (1833), qui toutes s'appuient sur les conclusions de leurs illustres prédécesseurs et adoptent leur système d'étagement des roches sédimentaires.

Et il faut croire qu'en 1834 les Vosges sont à l'ordre du jour, puisque la *Société Géologique de France* tient à Strasbourg, du 6 au 14 septembre, une *Réunion Extraordinaire* dont le programme comporte plusieurs excursions dans les Vosges hercyniennes et dans les Vosges gréseuses.

Enfin, c'est la parution en 1840 de la « *Carte Géologique de la France au 1/500 000* » de A. DUFRENOY et L. ELIE DE BEAUMONT qui, pour les Vosges Gréseuses, est remarquable de vérité et, souvent, de précision. Vérité et précision que l'on retrouve en 1841 dans le Mémoire qui sert

d' « *Explication* » à cette carte et dont la partie « Vosges » est dûe à la plume d'ELIE DE BEAUMONT. On y retrouve les mêmes subdivisions que dans les « *Observations...* » de 1828, et les mêmes conclusions; en supplément, on y peut lire une très belle et agréable étude préliminaire, toujours utile à qui désire travailler dans les Vosges, et qui comporte une présentation géographique, climatique, voire touristique (t. 1, p. 267 à 300).

Dès lors en possession d'une solide base de travail, les chercheurs vont essentiellement s'attacher à fournir des descriptions minutieuses, donc infiniment précieuses et à déterminer les fossiles — végétaux et animaux — trouvés dans ces assises, principalement dans le Grès bigarré et le Grès coquillier. C'est ainsi que les végétaux ont donné lieu à une fort belle « *Monographie* » de la part de W. P. SCHIMPER et A. MOUGEOT (1844) tandis qu'apparaissent les descriptions géologiques et minéralogiques des divers départements : écrites par des Ingénieurs au Corps des Mines, on y sent l'influence de L. ELIE DE BEAUMONT; nous citerons dans l'ordre où ils les ont fournies :

- E. VOLTZ pour le département du Haut-Rhin (1833);
- E. THIRIA pour le département de la Haute-Saône (1833);
- H. HOGARD pour le département des Vosges (1845);
- J. LEVALLOIS pour le département de la Meurthe (1851, 1856 et 1862);
- A. DAUBRÉE pour le département du Bas-Rhin (1852);
- E. JACQUOT pour le département de la Moselle (1854);
- DELBOS et KOECHLIN-SCHLUMBERGER pour le département du Haut-Rhin (1861);
- A. BRACONNIER pour le département de la Meurthe-et-Moselle (1879 et 1883).

Et nous arrivons aux auteurs dont nous sommes les héritiers directs ou les contemporains; c'est avec minutie que ces travaux méritent d'être analysés; comme nous le faisons au fil des chapitres que nous présentons dans cet ouvrage, il est inutile de l'entreprendre ici; citons simplement les principaux d'entre eux, dans l'ordre approximatif de leurs publications : E. WEISS, E. W. BENECKE, L. VAN WERVEKE, R. LEPSIUS, C. W. VON GÜMBEL, C. VELAIN, J. DE LAPPARENT, A. LEPLA, A. LIETARD, E. NOEL, R. ZEILLER, W. DEECKE, R. NICKLÈS, E. SCHUMACHER, G. BLEICHER, P. FLICHE, P. BILL, F. HEIM, E. KRAUS, K. STAESCHE, R. BRINKMAN, H. BAULIG, A. SCHAD, A. STRIGEL, P. VOLLRATH, J. JUNG, G. CORROY, G. CHUBERT, G. GARDET, H. RÜCKLIN, F. FORCHE, L. SCHNOEBELÉ, N. ARABU, G. RENOUARD, L. GUILLAUME, F. FIRTION, L. GRAUVOGEL, G. DUBOIS, N. THÉOBALD, J. TRICART, P. MAUBEUGE, G. SELZER, E. MÜLLER, J. RICOUR, G. MINOUX.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE STRATIGRAPHIQUE

CHAPITRE PREMIER

LE PERMIEN

Anciennement appelé **PÉNÉEN** (d'OMALIUS d'HALLOY, 1822) ou encore **DYAS** (J. MARCOU, 1859), le **PERMIEN** n'est abordé ici que parce qu'il constitue fréquemment le soubassement du Buntsandstein et parce que sa partie supérieure est essentiellement constituée par des grès; l'étude de ceux-ci est en effet utile si l'on veut pouvoir les différencier de ceux du Buntsandstein.

Nous n'aurons pas la prétention de vouloir apporter du neuf dans la connaissance purement stratigraphique de ce système : d'autres plus éminents l'ont fait avant nous pour chaque bassin.

A. — LES BASSINS PERMIENS

Ce permien s'étale en effet en divers bassins allongés suivant la direction varisque et séparés les uns des autres par des seuils anticlinaux allongés dans le même sens; on distingue donc du N au S :

1° Le bassin sarrois.

Un excellent résumé de la stratigraphie de ce bassin figure dans le travail de N. THEOBALD (1952, *b*) ainsi qu'une liste bibliographique à laquelle on pourra ajouter les récents travaux de D. HEIM (1958 et 1960). Ce bassin est situé en dehors de la région que nous avons étudiée.

2° Le bassin palatin.

Une récente mise au point accompagnée d'une importante bibliographie a été fournie par A. FALKE (1950).

3° Le bassin de Saint-Dié et ses annexes (régions de Bruyères - Saint-Dié, d'Etival - Nompattelize, de Senones et de la Vallée du Rabodeau, du Donon et de la Vallée de la Plaine, de la Nideck enfin).

De bonnes études ont été menées dans ces régions : C. VÉLAIN (1885), E. KRAUS (1925), G. GARDET (1932), G. CHOUBERT (1934), S. MIHARA (1935), G. MILLOT (1945), G. DUBOIS (1946); mais le travail le plus important demeure celui de G. CHOUBERT et G. GARDET (1935) : la stratigraphie du bassin de Saint-Dié et de ses annexes y est décrite avec minutie et une corrélation entre ces bassins et celui de Villé est établie.

4° Le bassin de Villé.

Il a fait l'objet de bonnes études stratigraphiques de la part de C. VÉLAIN (1885), de H. BÜCKING (1890 et 1920), de E. W. BENECKE et L. VAN WERVEKE (1890), de BRUNZEL (1896), de E. KRAUS et

W. WAGNER (1924), de G. RENOARD enfin (1935 et 1936). Dans ce bassin a été récoltée une riche flore d'âge autunien décrite notamment par R. ZEILLER (1894) puis par G. RENOARD (1936).

5° Le bassin du Val d'Ajol.

Il est célèbre par les troncs et autres fragments de végétaux silicifiés décrits par le Dr MOUGEOT (1852), H. HOGARD (1845) puis C. VELAIN (1890) ont fourni quelques descriptions géologiques de ce bassin qui reste cependant mal connu dans le détail.

6° Le bassin de Guebwiller.

Il a été étudié par E. KRAUS et W. WAGNER (1924), puis par N. THÉOBALD (1952a) qui fournit une abondante bibliographie. Cet auteur a également étudié une région voisine, le Champ de fractures du Linge, qui comporte aussi un Permien intéressant (1952g).

7° Le bassin de Ronchamp-Chagey.

C'est le plus méridional des bassins permien des Vosges; il fut étudié par E. THIRIA (1833) et par C. VÉLAIN (1885).

8° Le Permien du Massif de la Serre.

Bien que ne faisant plus partie des Vosges, le petit Massif de la Serre est intéressant par les données paléogéographiques qu'il fournit sur le Permien et le Trias. La note de H. COQUAND (1856) reste toujours l'étude fondamentale.

Jusqu'ici aucune étude d'ensemble n'a été menée, ni établie aucune corrélation stratigraphique précise et systématique entre ces divers bassins. Cependant des traits communs apparaissent : les couches du Permien inférieur sont généralement représentées par des argiles schisteuses et des arkoses tandis que la partie supérieure est essentiellement constituée par des grès renfermant des bancs et des nodules de dolomie cristalline. Dans l'une ou l'autre série ou, le plus souvent, à la limite des deux, s'intercalent des coulées volcaniques, rhyolites et basaltes (C. VELAIN, 1885, G. CHOUBERT, 1934; S. MIHARA, 1935; A. NICOLAS, 1960). Tout ceci constitue le Rothliegende des allemands et s'apparente au New red sandstone des anglais.

Un parallèle est souvent établi entre l'Autunien et les argiles schisteuses et arkoses du Permien inférieur (Unterrotliegende des auteurs allemands); de même, les épanchements volcaniques sont considérés comme une conséquence de la phase saaliennne de l'orogénèse hercynienne; enfin les arkoses de la partie supérieure (Oberrotliegende des auteurs allemands) sont souvent attribuées au Saxonien parce qu'en Allemagne ils sont recouverts par les sédiments dolomitiques à fossiles thuringiens de la mer du Zechstein. Cependant, en dehors du domaine recouvert par cette mer — sur le continent vosgien par exemple — le grès « saxonien » a continué à se déposer sans interruption jusqu'au Trias; la partie supérieure de ce grès est donc certainement d'âge thuringien; mais comme la limite entre les parties saxonienne et thuringienne de cette formation est impossible à tracer, l'appellation « grès saxono-thuringien » serait préférable. Quant à nous, préférant ne pas établir un parallèle hâtif entre une série continentale azoïque et des séries marines, nous avons adopté l'appellation allemande « Oberrotliegende ».

Dans le travail que nous présentons ici, nous ne nous sommes occupé que de la partie supérieure, gréseuse, du Permien (= *Oberrotliegende* des auteurs allemands); nous avons étudié ces grès dans le but essentiel de les comparer à ceux du Buntsandstein et parce qu'ils forment le soubassement le plus fréquent de cette série.

B. — DESCRIPTION DU GRES PERMIEN (OBERROT LIEGENDE)

L'étude des grès des bassins précédemment cités nous a permis de constater que les mêmes caractères se retrouvaient partout et aux niveaux les plus variés; il est donc possible de décrire

« le » Grès permien, en sachant, bien entendu, que des variantes peuvent se présenter au hasard des affleurements.

1° La couleur est rouge à brun-rouge foncé; des trainées ou des tâches blanches apparaissent souvent sans que la composition du grès change pour autant. Parfois cependant, la couleur blanche correspond à un banc de dolomie cristalline ou à des nodules de même nature (pl. IV, fig. D).

2° La dolomie.

Elle est parfois si abondante qu'elle a pu localement être exploitée comme pierre à chaux (Col des Raids près de Saint-Dié); dans les grès, elle soude les grains de quartz et forme un ciment qui confère à la roche une grande dureté contrastant avec la friabilité générale de ce sédiment. Cette dolomie constitue des masses et des trainées irrégulières totalement indépendantes de la stratification et disséminées dans les arkoses grossières dont le faciès est typiquement continental (p. 157). Par son environnement sédimentaire et par tous ses caractères, cette dolomie peut être classée parmi les dolomies de type épigénétique (p. 62).

3° La granulométrie. Elle est assez variable (cf. 2° partie, chap. I).

— Le diamètre moyen des grains oscille en effet entre 0,20 et 1,00 mm avec une fréquence plus grande vers 0,40 mm.

— Le mode oscille entre 0,12 et 2,00 mm avec une plus grande fréquence vers 0,35 mm.

— Les courbes sont très étalées : dans un même échantillon les éléments présentent des dimensions allant de la fraction argileuse jusqu'à 7 ou 8 mm. Ceci indique un sédiment non trié provenant d'un épandage brutal ou d'une coulée boueuse dans une cuvette située au pied même des reliefs.

— Dans chaque bassin, les sédiments présentent une granodécroissance générale et régulière de la base au sommet; d'abord rapide, elle s'atténue ensuite (fig. 10 A et 10 B, p. 119).

4° Caractères pétrographiques.

a) Examen macroscopique.

Il permet de déceler :

- d'abondants grains de quartz, non usés, anguleux et fortement teintés par les oxydes de fer;
- d'abondants cristaux de feldspath, eux aussi non usés et anguleux et ayant parfois conservé leurs formes propres;
- d'assez rares paillettes de mica, parfois accumulées en des lits très minces.

Tous ces grains ont les dimensions les plus diverses et sont noyés dans une abondante pâte argilo-gréseuse teintée en brun-rouge sombre.

b) Examen microscopique.

Une série de comptages minéralogiques effectués sur des lames minces de diverses provenances (1) nous a permis de préciser les pourcentages relatifs des principaux constituants du Grès permien; les résultats sont groupés dans le tableau I et montrent que ces grès sont de véritables arkoses. Les feldspaths sont constitués en grande majorité par de l'orthose; les plagioclases sont très rares.

(1) En ce qui concerne l'étude pétrographique de notre travail, à chaque affleurement cité correspond une à cinq lames minces taillées dans des échantillons différents mais particulièrement représentatifs des caractères de cet affleurement. Au total, 120 lames minces ont été étudiées. Pour faciliter les comptages minéralogiques, chaque lame mince a été colorée au cobaltonitrite de sodium et au rhodisonate de potassium (méthode exposée par E. H. BAILEY et R. E. STEVANS, 1960) : les feldspaths alcalins sont colorés en jaune, les plagioclases en rouge, et les quartz restent incolores. Une moitié seulement de la lame est traitée, de façon à permettre une observation normale sur l'autre moitié. Pour chaque lame, l'opération de comptage a porté sur 1 000 minéraux environ.

TABLEAU I
Composition minéralogique de quelques échantillons de Grès permien

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
Vieux-Moulin (NE de Senones)	40	60	0
Bruyères	61	39	0
Le Val d'Ajol	59	40	1
La Vancelle (S de Villé)	63	36	1
Giromagny (N de Belfort)	56	44	0
Anjoutey (NE de Belfort)	51	48,5	0,5

L'examen des lames minces permet aussi d'observer d'assez fréquents **nourrissages secondaires**, parfois sous la forme classique d'auréoles de silice entourant l'enduit ferrugineux encore visible et prisonnier qui enrobe le grain primitif. Ce nourrissage peut aboutir dans certains cas à la constitution de véritables quartzites (Giromagny; Belval et Champenay à l'E de Senones) (pl. V, fig. C.).

5° Composition chimique (1).

Deux échantillons de Grès permien très caractéristique ont été analysés : l'un est un grès rouge et l'autre un grès blanc : ils ont été prélevés à quelques centimètres l'un de l'autre vers le sommet de la série permienne de *BRUYERES*.

	Grès rouge	Grès blanc
Si O ₂	73,95 %	74,99 %
Al O ₃	13,19 %	13,17 %
Fe ₂ O ₃	1,72 %	0,92 %
Fe O	0,25 %	0,20 %
Mn O	0,02 %	0,02 %
Mg O	0,73 %	0,66 %
Ca O	0,56 %	0,37 %
Na ₂ O	0,40 %	0,40 %
K ₂ O	7,30 %	6,80 %
Ti O ₂	0,23 %	0,27 %
P ₂ O ₅	0,09 %	0,16 %
P.F.	1,94 %	2,45 %
TOTAL	100,38 %	100,41 %

Interprétation de ces analyses.

Un fort déficit en Ca O et Na₂ O apparaît, indice d'une grande rareté des plagioclases : analyse chimique et analyse microscopique concourent donc au même résultat.

La quantité de fer ferrique combiné et libre Fe₂O₃ est faible et par conséquent la quantité de Fe₂O₃ libre susceptible de fournir au grès sa coloration rouge, l'est encore plus : on peut l'obtenir par différence entre les deux analyses, ce qui nous donne une quantité de 0,80 % du poids du sédiment. Notons d'ailleurs que tous les auteurs qui ont étudié la coloration rouge de ce genre de formations citent des résultats du même ordre de grandeur.

(1) Pour chaque formation, un certain nombre d'analyses chimiques a été effectué; deux méthodes ont été employées :

— la méthode classique par voie humide; elle a porté sur vingt échantillons;
— la méthode quantométrique; elle a été menée au moyen du quantomètre « Applied Research Laboratories » et a porté sur 150 échantillons parmi lesquels se trouvaient les vingt précédents : de cette façon chacune des deux méthodes a été contrôlée par l'autre; pour un même échantillon, les résultats obtenus ont toujours été très voisins l'un de l'autre, parfois même presque identiques.

Toutes ces analyses ont été effectuées dans les laboratoires du Centre de Recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy.

6° *L'étude morphoscopique des grains de quartz* (cf. 2° partie, chap. III, p. 155 et pl. IX, fig. A) révèle une forte proportion de *non usés* noyant quelques grains *subanguleux* et de très rares *arrondis*. Ici encore apparaît le caractère peu évolué du sédiment qui indique une **provenance très proche, un transport bref, un dépôt de piedmont en milieu terrestre évoquant un phénomène de sheet-flood.**

7° Les stratifications (cf. 2° partie, chap. IV).

La stratification horizontale, indiquant une sédimentation dans un fond de cuvette, n'est pas rare.

Beaucoup plus fréquentes cependant sont les *stratifications entrecroisées et surtout obliques*; partout où cela fut possible, des mesures de ces stratifications ont été effectuées; elles m'ont montré que les sédiments sont venus de tous les azimuths et non d'une direction privilégiée; cependant, une légère tendance vers une provenance occidentale des matériaux se manifeste au sommet du Permien.

C. — LIMITE SUPERIEURE DU PERMIEN

Cette limite du Permien et du Trias est assez facile à tracer.

1° **Dans le Palatinat** elle passe au-dessus des derniers bancs dolomitiques à fossiles marins du Zechstein (F. FORCHE, 1935, p. 18) : au-dessus de ces bancs débutent les schistes argileux azoïques du Buntsandstein inférieur.

2° **En Alsace septentrionale**, la dolomie du Zechstein se poursuit : F. FORCHE (pp. 18-19 et fig. 1) l'y a observé à Weiler près de Wissembourg et au-dessous de la ruine de Windstein dans le Jägartal; mais là, elle ne renferme plus de fossiles; ses caractères pétrographiques permettent cependant de l'identifier et de tracer une limite nette entre le Permien et le Buntsandstein inférieur ou Grès d'Annweiler.

3° **Dans les régions plus méridionales**, les bancs de Zechstein disparaissent. Il est cependant facile de tracer une limite basée sur les deux caractères suivants :

a) *Une Argile-Limite*, atteignant parfois 1 à 2 m d'épaisseur, termine souvent le Permien à son **sommet** : elle est signalée dans les notices des cartes géologiques au 1/80 000 de Lunéville et d'Epinal (2° édition) ainsi que par N. THEOBALD (1951, p. 1) et je l'ai souvent observée dans le bassin de Saint-Dié et de Bruyères.

b) *La disparité des faciès du Permien et du Trias* permet, même en l'absence de l'Argile-Limite, de **tracer une limite nette** : le Permien s'achève par les grès à gros éléments non usés et anguleux, de couleur rouge-brique ou brun-rougeâtre que nous avons décrits et qu'il n'est pas possible de confondre avec le Grès vosgien du Buntsandstein moyen ou avec le Grès d'Annweiler du Buntsandstein inférieur que nous allons maintenant étudier.

CHAPITRE II

LE BUNTSANDSTEIN

I. — DEFINITION ET SYNONYMIE

1° Le terme « **BUNTSANDSTEIN** » est dû à WERNER qui l'emploie dès le début du XIX^e siècle; il y englobe tous les terrains situés entre les dolomies du *Zechstein* à la base et les dolomies à *Myophoria orbicularis* du *Muschelkalk* au sommet. Si la limite inférieure demeure ce qu'elle fut toujours, la limite supérieure fut rapidement réajustée à un niveau plus bas : les formations marno-dolomitiques qui couronnaient le *Buntsandstein* de WERNER en ont été détachées en 1834 par ALBERTI; depuis, elles constituent le *Wellenkalk* qui est rattaché au *Muschelkalk* (F. VON ALBERTI, 1834, p. 43).

Tel qu'il était, ce *Buntsandstein* comprenait toutes les formations gréseuses situées entre le Permien (grès du *Rothliegende*, dolomies du *Zechstein*) et les formations marno-dolomitiques du *Wellenkalk*. Mais en 1869, WEISS en rejeta les formations gréso-dolomitiques, marines et fossilifères du sommet, qu'il appela « *Muschelsandstein* » et qu'il plaça à l'extrême base du *Muschelkalk* (E. WEISS, 1869a, p. 216).

Ainsi défini, le terme de *Buntsandstein* est universellement employé.

2° Le terme « **GRES BIGARRE** », traduction littérale du précédent apparaît pour la première fois dans la littérature française en 1827. Son créateur L. ELIE DE BEAUMONT (1827-1828) l'emploie cependant dans un sens restreint en excluant le « *Grès des Vosges* » qu'il place dans le Permien. A sa suite, la plupart des auteurs français agiront de même jusqu'à ce que A. DE LAPPARENT adopte dans son traité les divisions des auteurs allemands et replace dans le « *Grès bigarré* » le *Grès des Vosges* et le *Conglomérat principal* (1883). A partir de cette date, le terme « *Grès bigarré* » fut employé tantôt dans son sens large (définition de A. DE LAPPARENT), tantôt dans son sens restreint (définition de L. ELIE DE BEAUMONT). Définissant deux formations différentes, ce terme à double sens doit être rejeté.

3° Le terme de **WERFENIEN**, créé par E. RENEVIER en 1874 lorsqu'il décrit les couches de Werfen (Duché de Salzbourg en Autriche) et repris par lui en 1897, est surtout employé dans la nomenclature du Trias alpin (M. GIGNOUX, 1960), mais parfois comme synonyme de *Trias inférieur Germanique* (A. DE LAPPARENT, 1894).

4° Le terme de **VOGESIEN** fut créé en 1948 par G. DUBOIS (1948, p. 7) par modification du terme *Vosgien* (A. DE LAPPARENT, 1883, p. 797), afin de remédier à l'insuffisance ou à l'impropriété des termes jusqu'alors existants; malheureusement, il ne correspond pas à un stratotype choisi dans une région où les formations sont marines et fossilifères : il n'englobe en effet que des séries continentales non fossilifères, ou ne comportant vers le sommet que quelques fossiles de faible valeur stratigraphique. D'après les règles proposées par le Comité Français de Stratigraphie, le suffixe *ien* que possède ce terme est donc impropre et oblige à le rejeter.

II. — SUBDIVISIONS

En dehors du cas litigieux du Conglomérat principal (= *Hauptkonglomerat*), placé par la plupart des auteurs français dans le *Grès bigarré moyen* et par la plupart des auteurs allemands dans le *Oberer Buntsandstein* (= *Grès bigarré supérieur*), les divisions varient peu en fonction des divers auteurs : en revanche les dénominations sont très diverses et ce qu'elles recouvrent varie avec l'auteur qui les emploie.

Pour permettre au lecteur une vue synthétique du problème, nous présentons, en parallèle, dans le tableau II :

1. — les dénominations employées et les divisions observées par les anciens auteurs français (ELIE DE BEAUMONT et ses disciples);
2. — les dénominations employées et les divisions observées par les auteurs français depuis A. DE LAPPARENT;
3. — les dénominations employées et les divisions observées par les auteurs allemands;
4. — les dénominations et divisions proposées par G. DUBOIS (1948);
5. — les nôtres : elles n'innovent rien mais constituent une synthèse, autorisée par l'étude stratigraphique minutieuse que nous avons conduite en Lorraine et en Alsace, depuis le nord jusqu'au sud des Vosges; nous avons repris les termes consacrés par l'usage, toutes les fois que ceux-ci ne risquaient pas d'apporter de confusions; en revanche nous avons banni tous ceux qui présentaient la moindre ambiguïté.

III. — LE BUNTSANDSTEIN INFÉRIEUR

Très largement répandu dans le Palatinat (Haardt), le Spessart et l'Odenwald, le Buntsandstein inférieur existe aussi dans le nord de l'Alsace : il affleure dans les vallées qui descendent vers Wissembourg (Lauterbach), vers Lembach (Sauer et ses affluents : Dentelbach, Saarbach, Steinbach) et vers Niederbronn-Reichshoffen (Schwartzbach, Jaegerthal et Falkensteinbach).

A. — RAPPEL DE LA STRUCTURE DU BUNTSANDSTEIN INFÉRIEUR DANS LE PALATINAT

Surmontant le Permien, le Buntsandstein inférieur comporte trois assises dont la coupe, dressée à Annweiler (Palatinat), nous est fournie par F. FORCHE (1935, fig. 1 et p. 20) :

Coupe partielle de la région d'Annweiler.

— BUNTSANDSTEIN MOYEN.

— BUNTSANDSTEIN INFÉRIEUR.

c) 5 à 8 m : **Schistes argileux supérieurs** (= *Obere Leberschiefer*) : alternance de minces bancs de grès et d'argile qui renferment des nodules de dolomie.

b) 30 m : **Grès d'Annweiler** (= *Annweiler Sandstein*) : grès à grain fin de couleur rouge sombre; nombreux nodules de dolomie et tâches d'oxyde de manganèse.

a) 10-35 m : **Schistes argileux inférieurs** (= *Untere Leberschiefer*) : alternance de minces bancs de grès et d'argile qui renferment des nodules de dolomie.

— THURINGIEN : 2 m environ de dolomie marine et d'argile (= *Zechstein*).

— SAXONIEN : grès permien et schistes rouges.

B. — LE BUNTSANDSTEIN INFÉRIEUR EN ALSACE

En Alsace, les trois assises observées dans le Palatinat ne peuvent plus être distinguées : le **Buntsandstein inférieur** est constitué par une alternance de petits lits d'argiles et de bancs de grès de 0,25 à 2 m d'épaisseur et sa hauteur est de 50 à 60 m (F. FORCHE, 1935, fig. 1 et p. 21; G. DUBOIS, feuilles géologiques au 1/80 000 de Saverne, 1949, et de Wissembourg, 1952; observations personnelles). Cet ensemble est surtout gréseux, aussi a-t-il été nommé « *Grès d'Annweiler* ».

1° Coloration du Grès d'Annweiler.

Elle est **rouge moyen à brun-rouge sombre**; de larges taches noires d'oxyde de manganèse ou ocre foncé d'oxyde de fer donnent à l'ensemble une apparence de peau de panthère (plutôt qu'une allure tigrée : « *Tigersandstein* » des auteurs allemands).

Certains lits peuvent être décolorés et présentent alors un aspect blanchâtre.

2° Analyse granulométrique (cf. tableaux XX et XXI et fig. 10 C).

Elle révèle un **sédiment bien classé**, à grain fin, mais dont la fraction poudre est peu importante; en effet :

— le diamètre moyen oscille entre 0,15 et 0,16 mm;

— le mode oscille entre 0,17 et 0,23 mm;

— le coefficient de classement oscille entre 1,21 et 1,35;

— l'importance de la fraction poudre oscille entre 4 et 8 %; à ce sujet, et contrairement à ce qui est généralement dit, la quantité d'argile incluse dans ce grès n'est pas plus importante que dans le Grès vosgien sus-jacent, du moins à l'échelle de l'échantillon, car, à l'échelle de la formation, il est exact que les lits d'argile ne sont pas très rares.

Notons enfin l'absence absolue d'éléments grossiers (graviers) ce qui est un bon critère de distinction entre le Grès d'Annweiler et le Grès vosgien sus-jacent.

3° Caractères pétrographiques.

a) Examen à l'œil nu.

A côté des grains de quartz évidemment très nombreux, ce grès renferme d'abondants grains de feldspath et quelques rares micas.

Dans cet ensemble, apparaissent des **nodules de dolomie cristalline** de teinte plus claire et plus jaunâtre que celle du grès environnant.

b) Examen au microscope.

Il précise la **composition minéralogique** qui vient d'être entrevue : une série de comptages pétrographiques effectués sur lames minces nous a fourni les résultats groupés dans le tableau III; ils nous montrent de façon évidente que le **Grès d'Annweiler est représenté en Alsace par des arkoses**.

TABEAU III

Composition minéralogique de quelques échantillons de grès du Buntsandstein inférieur.

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
Wissembourg (Weller)	56	43	1
Niedersteinbach	80	20	traces
Philippsbourg	76	16	8
Niederbronn	74	25	1

Les **quartz**, blancs ou roses, sont teints superficiellement en brun-rouge par le ciment ferrugineux; à des **feldspaths essentiellement potassiques** s'ajoutent de très rares plagioclases; les **micas** sont représentés uniquement par de la muscovite.

Un **nourrissage secondaire** apparaît parfois, quand les lames minces ont été taillées dans des échantillons durs (carrière de Niederbronn, située à droite de la route à mi-chemin entre Niederbronn et Philippsbourg, anciennement exploitée pour pierres de tailles); on voit alors les grains de quartz intimement engrenés les uns dans les autres et le grès tend à devenir une quartzite; c'est ce qui a été signalé par J. RICOUR et J. DE MAUTORT (1960, p. 201) comme exemple de microfaciès caractéristique du Grès d'Annweiler. Or, c'est un phénomène absolument exceptionnel, car quand la lame mince provient d'échantillons normaux, c'est-à-dire très tendres ou même sableux, aucun nourrissage n'apparaît et les grains, à contours anguleux ou arrondis, ne sont nullement engrenés les uns dans les autres (pl. V, fig. D); toutefois un examen complémentaire des grains entiers provenant des mêmes échantillons (à l'aide de la loupe binoculaire) montre des micronourrissages en fines aiguilles (fig. 23-et pl. IX, fig. B), mais ceci n'est en rien comparable au nourrissage puissant des grains issus d'échantillons provenant de régions où ce grès est quartzifié. Cet examen décele aussi une *faible usure des grains de quartz* (cf. p. 156).

Dans les **nodules**, la **dolomie** constitue la masse essentielle, au milieu de laquelle sont noyés les grains de quartz et de cornaline détritiques; les cristaux sont petits et leur agencement confère à l'ensemble une allure spongieuse (pl. VI, fig. A); cette dolomitisation est à classer parmi les types épigénétiques.

4° Analyses chimiques.

Un échantillon présentant les caractères typiques du Grès d'Annweiler a été prélevé à Niedersteinbach (Bas-Rhin) et analysé à la fois par voie humide et au moyen du quantomètre; les analyses ont fourni des résultats très voisins; voici ceux provenant de l'analyse par voie humide :

Si O ₂	:	81,46 %	Ca O	:	0,47 %
Al ₂ O ₃	:	8,45 %	Na ₂ O	:	0,25 %
Fe ₂ O ₃	:	1,46 %	K ₂ O	:	5,30 %
Fe O	:	0,11 %	Ti O ₂	:	0,16 %
Mn O	:	0,06 %	P ₂ O ₅	:	0,05 %
Mg O	:	0,33 %	P. F.	:	0,98 %

Nous constatons le même déficit en Na₂O et Ca O que dans le Grès permien, dû à la même raison; pour les autres éléments, les valeurs sont du même ordre de grandeur que précédemment, notamment pour le fer et le manganèse. A ce propos, ont été analysés par voie quantométrique : d'une part l'un des nombreux nodules remplis de poudre noire qualifiée d'oxyde de manganèse par les auteurs, et d'autre part le grès normal qui environne ces nodules (carrières de Philippsbourg, citée page 22).

	Grès normal	Contenu du nodule
Mn O	0,03 %	0,17 %
Mg O	0,24 %	0,53 %
Fe ₂ O ₃	1,17 %	1,75 %

Le principal responsable de la coloration noire des sédiments qui constituent les nodules est donc bien le manganèse puisque c'est la teneur de celui-ci qui augmente dans la plus forte proportion quand on passe du grès normal au contenu du nodule; mais il convient de remarquer que cet élément possède un « pouvoir teignant » considérable et hors de proportion avec sa masse; la poudre noire qui remplit les nodules n'est donc pas constituée par de l'oxyde de manganèse mais par un sédiment très fin dont chaque élément est enrobé par un film d'oxydes de manganèse et de fer qui agissent à la façon d'une teinture.

5° La stratification.

Comme dans le Palatinat, elle est très souvent horizontale; mais en Alsace, il s'y adjoint de place en place une stratification oblique et régulière, dirigée vers l'E : 90°/20° (cf. 2° partie, chap. IV).

6° Place du Grès d'Annweiler : au sommet du Permien ou à la base du Buntsandstein ? Limite inférieure du Grès d'Annweiler.

La majorité des auteurs place le Grès d'Annweiler à la base du Buntsandstein; cependant quelques uns le situent au sommet du Permien (A. LEPLA, E. HAUG, J. RICOUR).

a) Les arguments exposés par A. LEPLA (1888, pp. 59 à 64 et fig. 2, p. 45) ont été repris et résumés par E. HAUG (*Traité de géologie*, t. II, p. 796) sous la forme suivante : dans le Palatinat (Albersweiler) comme à Heidelberg, « des bancs minces de calcaires dolomitiques, renfermant

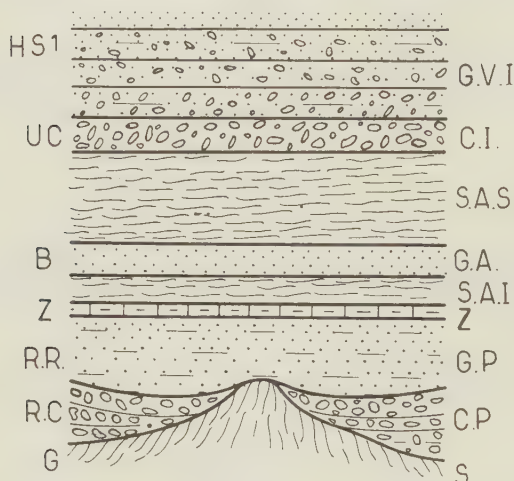


FIG. 2. — Coupe schématique à travers le Permien et le Buntsandstein dans le Haardt (d'après la fig. 2, p. 45 de A. LEPLA (1888).

Légende de A. LEPLA : HS¹ = Unterer Hauptbuntsandstein; UC = Untere Geröllzone des Hauptbuntsandsteines; B = Bausandsteine; Z = Zechstein; RR = Röhelschiefer und thonige Sandsteine; RC = Rothliegendcongglomerat; G = Grundgebirg.

Légende de J. PERRIAUX : GVI : Grès vosgien inférieur; CI = Conglomerat inférieur du Grès vosgien; SAS : Schistes argileux supérieurs; GA = Grès d'Annweiler; SAI : Schistes argileux inférieurs; Z = Zechstein; GP = Grès permien; CP = Conglomerat permien; S = Socle antépermien.

encore *Schizodus obscurus* et *Mytilus hausmanni*, se trouvent intercalés dans des grès rouges argileux ». Et tout cet ensemble est placé dans le Permien. De la figure 2 de A. LEPLA (p. 45 : Coupe schématique à travers le Permien et le Buntsandstein de la Haardt), j'ai extrait ce qui nous intéresse et placé en parallèle les annotations de l'auteur et celles qui sont couramment admises (fig. 2) : bien qu'il ait figuré le Grès d'Annweiler proprement dit (B. ou G. A.), LEPLA ne fait dans son texte aucune différence entre les grès argileux (RR) situés sous le banc de dolomie fossilifère du Zechstein (Z) et les grès argileux (RR) situés au-dessus de ce banc : aussi peut-il placer tout cet ensemble dans le Permien. En réalité, si les bancs fossilifères du Zechstein (Z) coiffent bien les grès argileux du Permien (G.P.), ils sont eux-mêmes surmontés par la série classique que l'on observe dans le Palatinat et que nous avons rappelée page 17 : Schistes argileux inférieurs, Grès d'Annweiler, Schistes argileux supérieurs; or, par de nombreux caractères, cette série est très différente des Grès argileux permien (G.P.); on retrouve d'ailleurs ces trois parties dans la figure 2 de LEPLA. Rien n'empêche donc de placer la limite supérieure du Permien au-dessus des derniers bancs dolomitiques à fossiles marins du Zechstein et de faire débiter le Buntsandstein avec les Schistes argileux inférieurs du Palatinat; c'est d'ailleurs ce que font actuellement tous les auteurs allemands. Et nous constatons que, dans cette région, la limite entre le Permien et le Buntsandstein est une limite paléontologique autant qu'une limite de faciès.

b) Récemment, J. RICOUR (1954, pp. 401 à 403) a repris la question et proposé de placer la formation dite des Grès d'Annweiler dans le Permien; considérons ses arguments :

a) Arguments paléontologiques.

Ainsi que nous venons de le voir, la limite supérieure du Permien est placée au-dessus des

derniers bancs à fossiles marins du Zechstein tandis que les formations azoïques immédiatement sus-jacentes appartiennent par définition au Trias : il en est donc ainsi pour le Grès d'Annweiler dans lequel aucun fossile marin n'a été découvert jusqu'ici. Cependant J. RICOUR (1954, p. 402) a relaté la découverte de moulages de grands Lamellibranches dans le Grès d'Annweiler de la région de Niederbronn (Bas-Rhin), ce qui l'autorisait à « rapprocher les Grès d'Annweiler des grès dolomitiques du Zechstein ». Mais depuis, cet auteur s'est aperçu que ces fossiles étaient en réalité des *ludi naturae* (renseignement oral que J. RICOUR a bien voulu me communiquer).

β) **Arguments morphologiques et cartographiques.**

J. RICOUR fournit page 402.

1. **Un argument morphologique** : « Ce niveau (Grès d'Annweiler), peu résistant à l'érosion, donne dans la topographie des reliefs très arrondis, couverts de végétation, en tous points identiques aux grès du Permien qu'ils surmontent ».

2. **Un argument cartographique** : « La limite Permien-Trias est, de ce fait, très difficile à cartographier et aucun fait marquant ne différencie les terrains primaires des terrains secondaires ». Et plus loin : « En effet, la limite supérieure des Grès d'Annweiler est dominée sur le terrain par un conglomérat, le conglomérat de base des Grès Vosgiens, homologue du Conglomérat d'Eck des géologues allemands. Il est plus logique de faire commencer le Trias, dans les dépôts de l'ère secondaire, par ce conglomérat qui donne la topographie des reliefs en forme de ruines, souvent complètement dénudées, et cartographiables ».

Or, ce n'est pas le Conglomérat de base du Grès vosgien qui, sur le terrain, domine le Grès d'Annweiler mais le Grès vosgien inférieur, dur et plus ou moins chargé en galets; le Conglomérat de base, lui, est très souvent tendre et friable et ne se différencie pas, morphologiquement, du Grès d'Annweiler. Si donc, on veut placer la limite au niveau de la rupture de pente, c'est-à-dire au pied des escarpements, elle passera entre le Conglomérat de base et le Grès vosgien proprement dit, c'est-à-dire à dix mètres environ au-dessus de la vraie limite Grès d'Annweiler - Grès vosgien. Les arguments d'ordre morphologique ou cartographique n'ont alors pas grande valeur.

γ) **Arguments pétrographiques.**

« Enfin les caractères pétrographiques du Grès d'Annweiler sont peu différents de ceux des grès permien sous-jacents, alors qu'ils diffèrent nettement du Grès vosgien » (J. RICOUR, p. 403).

Or, le seul caractère commun entre le Grès d'Annweiler et le Permien, qu'on ne retrouve pas dans le Grès vosgien, est la *présence de dolomie*. F. FORCHE y répond, qui avait déjà posé le problème (1935, pp. 18 à 21) et noté que :

— la dolomie du Rotliegende ne se manifeste dans les grès que comme ciment des grains de quartz et elle contient de la cornaline;

— la dolomie du Zechstein est compacte et se présente en bancs réguliers;

— la dolomie du Grès d'Annweiler apparaît soit sous forme de nodules disséminés dans la masse du grès, soit dans le ciment.

δ) **La coloration.**

« Les Grès-vosgiens présentent des couleurs rouges plus délavées, plus claires que celles des grès du Permien et des Grès d'Annweiler. Les Grès vosgiens semblent dérivés du Permien et des Grès d'Annweiler par remaniement, donc par lavage de couleur », (J. RICOUR, p. 403). Cette thèse est également soutenue par A. BONTE et P. CELET (1955) à propos du Permien et du Trias du Jura.

Que le Grès vosgien présente des couleurs plus claires que celles des Grès permien et d'Annweiler, oui certes — mais pas à cause d'un « remaniement, donc par lavage de couleur »; il ne faut pas oublier que le Grès vosgien, puis le Buntsandstein supérieur se sont déposés de façon transgressive sur le Grès d'Annweiler, lui-même transgressif sur le Grès permien; il ne faut pas oublier non plus que *nulle part on ne peut constater d'érosion ou de ravinement des formations anciennes par les formations plus récentes*; dans ces conditions, on ne voit pas comment une formation récente pourrait provenir, sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur, du remaniement d'une formation plus ancienne, qu'elle recouvre en totalité et qu'elle déborde de tous côtés, le retenant ainsi prisonnière au-dessous d'elle.

c) A l'encontre de ces arguments, j'ajouterai quelques réflexions suggérées par les résultats de l'analyse granulométrique (cf. 2^e partie, chap. I, pp. 118 et 127) : l'allure générale des courbes obtenues permet de rapprocher facilement le Grès d'Annweiler du Grès vosgien, tandis qu'elle met nettement ces deux formations en opposition avec le Grès permien; en effet :

α) **Le Grès permien** (fig. 10 A et 10 B) est caractérisé par :

- des courbes aplaties dénotant une forte hétérométrie des sédiments qui sont mal classés ou non classés;
- des courbes souvent bi ou trimodales, indiquant une origine multiple des matériaux;
- une dimension moyenne des grains très variable : la médiane des courbes évolue entre 0,20 et 1,00 mm avec un maximum vers 0,40 mm.

β) **Le Grès d'Annweiler** (fig. 10 C) est caractérisé par :

- des courbes très droites qui dénotent une excellente homométrie et un bon classement des sédiments;
- des courbes toujours unimodales;
- une dimension moyenne des grains très fine : la médiane est située aux environs de 0,16 mm;

γ) **Le Grès vosgien** (fig. 11) est caractérisé de la même façon par :

- des courbes très droites;
- des courbes souvent unimodales, parfois bimodales mais dans ce cas, la deuxième mode est peu important;
- une dimension moyenne des grains assez fine : la médiane des courbes évolue entre 0,10 et 0,30 mm avec un maximum vers 0,20 mm.

Des différences granulométriques très marquées apparaissent donc entre le Grès permien et le Grès d'Annweiler, tandis qu'entre celui-ci et le Grès vosgien n'existent que des points communs.

En conclusion, nous pouvons dire qu'aucun argument valable ne permet de faire basculer dans le Permien la formation dite du « Grès d'Annweiler » qui est placée à la base du Buntsandstein par la majorité des auteurs.

7° Limite supérieure du Buntsandstein inférieur.

On peut observer cette limite supérieure dans la grande carrière de *Philippsbourg* (feuille de Lembach, quart n° 5; 1,2 km SSE de la station de Philippsbourg; $x : 488,05$; $y : 241,6$ (*), où le Conglomérat inférieur du Grès vosgien surmonte le Grès d'Annweiler : la limite entre ces deux formations peut être tracée au niveau où de nombreux galets apparaissent brusquement dans les grès qui deviennent en même temps plus grossiers (fig. 10 C, courbe 3 et fig. 10 D, courbe 1).

C. — CONCLUSION A L'ETUDE DU BUNTSANDSTEIN INFÉRIEUR

Alors que dans le Palatinat, le Buntsandstein inférieur peut être subdivisé en trois séries (Schistes argileux inférieurs, Grès d'Annweiler, Schistes argileux supérieurs), en Alsace la série gréseuse occupe toute la formation qui peut alors être appelée « *Grès d'Annweiler* ».

Ce grès est caractérisé par :

- une couleur rouge moyen à brun-rouge sombre et la présence de taches noires d'oxyde de manganèse ou ocre d'oxyde de fer (*Tigersandstein*);
- un grain fin (en moyenne : 0,17 mm) et homogène;
- l'absence totale de galets;
- une composition minéralogique moyenne qui définit un grès arkosique :
75 % de quartz;
24 % de feldspath;
1 % de mica.
- la présence de nodules de dolomie disséminés dans la masse du grès;
- une faible usure des grains de quartz;
- une stratification surtout horizontale et parfois oblique.

Se basant sur des arguments morphologiques, pétrographiques, cartographiques et paléontologiques, un petit nombre d'auteurs (A. LEPPLA, E. HAUG, J. RICOUR) place cette formation dans le Permien; nos études nous ont, au contraire, démontré qu'elle avait sa place à la base du Trias; nous confirmons ainsi l'opinion de la plupart des auteurs.

La limite supérieure du Grès d'Annweiler peut être tracée là où apparaissent les nombreux galets du Conglomérat inférieur du Grès vosgien.

IV. — LE BUNTSANDSTEIN MOYEN

A. — DEFINITION

Comme il est indiqué dans le tableau II (p. 16), nous plaçons dans le Buntsandstein moyen le Grès vosgien et le Conglomérat principal c'est-à-dire l'équivalent du Hauptbuntsandstein et du Hauptkonglomerat des auteurs allemands.

B. — LIMITE INFÉRIEURE DU BUNTSANDSTEIN MOYEN

Divers cas doivent être envisagés :

1° **Le Buntsandstein moyen fait suite au Grès d'Annweiler**; dans le territoire étudié ce cas se présente en Basse-Alsace et en Lorraine septentrionale, dans la région située au NW de Niederbronn-Lembach-Wissembourg : la limite entre Grès d'Annweiler et Grès vosgien peut alors être tracée là :

- où aux grains de quartz d'une certaine finesse font suite des grains plus grossiers (cf. courbes granulométriques, fig. 11 A);
- où le ciment cesse d'être légèrement argileux pour devenir plus sec;
- où les galets apparaissent brusquement en assez grande abondance (Conglomérat inférieur).

A ces caractères très nets, on peut en ajouter deux autres moins tranchés :

- la coloration est plus claire dans le Buntsandstein moyen que dans le Buntsandstein inférieur;
- la stratification est plus fréquemment et plus nettement oblique ou entrecroisée dans le Buntsandstein moyen, plus fréquemment horizontale dans le Buntsandstein inférieur.

2° **Le Buntsandstein moyen repose sur le Permien** : ce cas se présente dans les diverses régions de « bassins » où le Permien existe (Vallée de la Plaine-Donon-Nideck, bassins de Villé, de Saint-Dié, Bruyères, du Val d'Ajol, de Ronchamp-Giromagny); dans toutes ces régions, on peut tracer la limite entre Permien et Buntsandstein de la façon suivante :

— le Permien, nous l'avons vu, s'achève souvent par un banc d'*Argile-Limite* de 2 à 3 m d'épaisseur ou, tout simplement, par des grès à gros éléments non usés, anguleux, de couleur rouge-brique caractéristique.

— Le Buntsandstein moyen débute par un Conglomérat inférieur à galets bien roulés noyés dans une matrice sablo-gréseuse à éléments de quartz, bien roulés eux aussi, et dont la granulométrie est très différente de celle des grès permien (cf. fig. 10 D).

3° **Le Buntsandstein moyen est directement transgressif sur les terrains hercyniens sous-jacents** (Dévono-dinantien, granites, gneiss, etc...) : dans ce cas, la limite cartographique est facile à tracer, bien que les affleurements où ce contact puisse être observé soient très rares; j'ai pu cependant en observer quelques uns qui méritent d'être décrits, étant donné l'intérêt qu'ils présentent.

a) **Affleurement de Jarménil** (feuille de Bruyères, quart n° 6, rive droite de la Moselle; x : 915,5; y : 354,33, juste en face du pont sur la Moselle qui relie Pouxieux à Jarménil). Ici, c'est le sommet du Grès vosgien qui est directement transgressif sur le socle : on peut, en effet, observer de bas en haut :

— Immédiatement au contact du gneiss, légèrement altéré et fortement diaclasé, un banc, épais de 0,50 m de Grès vosgien brun-rouge, ne contenant aucun galet; les multiples petits lits très minces qui constituent ce banc, le dépôt pelliculaire des grains, la stratification horizontale très fine, tout indique une sédimentation calme, bien que progressive, sur le bord d'une cuvette.

— Au-dessus de ce banc : 24 m de Conglomérat principal constitué très classiquement par une alternance de bancs très conglomératiques à leur base, un peu moins au-dessus et parfois même gréseux à leur sommet.

— Le tout est couronné par les grès des Couches intermédiaires inférieures (fig. 6, p. 47).

b) Carrières de Relanges (feuille de Vittel, quart n° 7, 0,5 km W de Relanges; $x : 873,3$; $y : 52,55$; anciennes carrières situées à la sortie de Relanges sur la route de Contrexéville); ici c'est le Conglomérat principal qui est directement transgressif sur le granite.

— Dans la première carrière (la plus orientale) on peut observer au-dessus du granite altéré et diaclasé, la coupe suivante de bas en haut (pl. IV, fig. F) :

— 0,50 à 1,50 m : grès très friable, déposé en très minces lits alternativement brun-rouge et blancs; stratification horizontale très fine; dépôt pelliculaire tranquille;

— 0,60 m : grès se chargeant très progressivement vers le haut en galets;

— au-dessus, Conglomérat principal très classique.

Dans cette carrière, la transgression débute donc comme à Jarménil par un dépôt sableux en eau tranquille. Dans cette même carrière, mais un peu plus à l'W, et dans une autre carrière voisine et située encore plus à l'W, on peut observer des restes d'un **ancien sol** (?) conservé dans des poches de la surface du socle (pl. IV, fig. E). La transgression s'est donc effectuée ici avec suffisamment de douceur pour ne pas emporter ce sédiment fragile.

Enfin dans la dernière carrière située à 200 m environ au NW de la première, on peut constater que la **transgression fut brutale** : le Conglomérat repose directement sur le granite, sans interposition de sédiment sablo-argileux comme on le constate généralement ailleurs.

Nous avons parlé d'un ancien sol : l'aspect est celui d'un sédiment sablo-argileux très fortement teinté en noir; la granulométrie (fig. 13 A, courbe 1) est tout-à-fait comparable à celle du Grès vosgien ou à celle des bancs gréseux du Conglomérat principal. Le mode de gisement indique une accumulation dans des poches du socle granitique.

L'allure générale et le mode de gisement laissent à penser à un reste de l'ancienne couverture arénacée provenant de l'altération de la surface du granite et peut-être à un ancien sol; pour nous en assurer des analyses de matière organique, de carbone organique et d'azote ont été effectuées, sur notre demande, par les soins de M. le Professeur P. DUCHAUFOUR à qui nous renouvelons nos remerciements pour l'aide amicale qu'il a bien voulu nous apporter; ces analyses de deux échantillons semblables prélevés à une centaine de mètres de distance l'un de l'autre ont donné les résultats suivants :

Matière organique :	0 %	0 %
Carbone organique :	0 %	0 %
Azote :	0 %	0 %
pH :	5,0 %	4,7 %

Il n'est donc pas possible d'affirmer que ce sédiment est un « sol » fossile dans le sens pédologique du mot. Mais peut-être est-il un résidu d'altération du socle granitique ? Une réponse peut-être cherchée dans l'analyse chimique suivante effectuée par voie humide.

Si O ₂ :	82,05 %	Ca O :	0,93 %
Al ₂ O ₃ :	6,53 %	Na ₂ O :	0,15 %
Fe ₂ O ₃ :	3,29 %	K ₂ O :	3,50 %
Fe O :	néant	Ti O ₂ :	0,20 %
Mn O :	0,78 %	P ₂ O ₅ :	0,13 %
Mg O :	néant	P. F. :	2,18 %

Comparée aux analyses effectuées dans le Conglomérat principal (p. 38), celle-ci laisse apparaître une concentration exceptionnelle en Fe₂O₃ et en Mn O; or de telles concentrations résultent généralement de processus d'altération superficielle à la surface du sol.

Ces sédiments ne constituent peut-être pas un « sol » au sens pédologique du mot; mais au sens géologique ils témoignent sans doute d'une altération superficielle du socle granitique sous un climat chaud (cf. 3^e partie, chap. I).

Nous poursuivons d'ailleurs nos travaux sur cette intéressante question.

c) *Ancienne carrière de granite de Bleurville* (feuille de Vittel, quart n° 7; 2,2 km NNW de Bleurville; $x : 869,4$ $y : 48,9$).

Le Conglomérat principal, épais de 3,70 m, comporte à sa base un lit grés-sableux, immédiatement transgressif sur le granite, altéré et diacaté en surface. Nous avons donc une disposition très semblable à ce que nous venons d'observer à Relanges.

d) *Ancienne carrière de granite située à 400 m SE de la Maison forestière de Senennes* (feuille de Monthureux/Saône) quart n° 4; 2,2 km NE de Claudon; $x : 877,3$; $y : 345,0$).

Ici la transgression fut brutale : la surface du granite n'est pas altérée et nulle part on ne peut observer trace d'un ancien sol; le Conglomérat principal, épais seulement de 1 m, s'est déposé brutalement sur le granite; la limite entre le socle et le Trias est très régulière et rectiligne et ressemble à une surface de pédiment rocheux.

e) *Ancienne carrière de granite ds Trefileries du Blanc Murger* (feuille de Plombières, quart n° 4; 3,9 km SW de Bellefontaine; $x : 903,3$; $y : 341,4$).

Au-dessus du granite dont la surface altérée et irrégulière comporte des poches remplies des restes de l'ancien sol, la transgression du « Conglomérat principal » débute par un grès brun-rouge qui se charge progressivement en galets pour présenter vers le haut l'aspect d'un conglomérat très typique. La transgression fut donc, ici encore, très calme au début.

f) *Sur la pente orientale du Mont Sainte-Odile* enfin (feuille de Molsheim, quart n° 7; 1 km SW de Saint-Nabor et 0,7 km NE du Couvent; $x : 975,4$; $y : 94,9$), une ancienne et minuscule carrière nous montre le contact du Grès vosgien et du Dévonien (déjà signalée par E. SCHNOEBELÉ, 1923, pp. 127-130 :

La surface du socle, très irrégulière bien que nette et non altérée, est moulée par le Grès vosgien qui l'a ensevelie, mais de façon très calme : la stratification est horizontale, les bancs sont horizontaux et peu épais (quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur). Le banc de Grès vosgien qui se trouve au contact immédiat de la surface ancienne est fortement chargé en tâches et nodules d'oxyde de manganèse, mais quelques centimètres au-dessus, il se présente déjà sous son aspect le plus classique, brun-rouge, etc.

g) *Conclusion à l'étude de la limite inférieure du Buntsandstein moyen.*

— Là où le Buntsandstein moyen est incomplet et directement transgressif sur le socle, le Conglomérat inférieur fait défaut.

— En général, la transgression débute par un dépôt tranquille de sable fin de quelques décimètres d'épaisseur; ensuite seulement, le Buntsandstein moyen acquiert son véritable faciès selon le niveau auquel s'est effectué la transgression : faciès du Grès vosgien, faciès du Conglomérat principal.

C. — RAPPEL DE LA STRUCTURE DU BUNTSANDSTEIN DU PALATINAT

(Hauptbuntsandstein + Hauptkonglomerat)

Ces deux formations ont été souvent décrites par les auteurs allemands, en particulier par E. BENECKE (1877), R. BRINKMANN (1925-1926), F. FORCHE (1935) et plus récemment, par un auteur français, G. DUBOIS (1949).

Dans le Palatinat, il est classique de subdiviser le Hauptbuntsandstein ou Buntsandstein moyen (= Sm) en deux parties (cf. tableau II, première colonne et tableau IV) :

une partie supérieure (= Sm²) ou Grès de Trippstadt ou de Karlstal;

une partie inférieure (= Sm¹) qui comprend elle-même les Grès de Rehberg au sommet et les Grès de Trifels à la base.

1° Le « Trifelssandstein », épais de 80 à 90 m, dur, de couleur brun-rouge clair, feldspathique, comportant dans sa masse de nombreux nodules d'oxyde de manganèse, est très souvent conglomératique à sa base; ce niveau conglomératique basal (Unterer Felshorizont) est classiquement considéré comme l'équivalent du Conglomérat d'Eck (*Ecksche Konglomerat*) de la rive droite du Rhin; cependant, selon les travaux récents des auteurs allemands, le véritable Conglomérat d'Eck de la Forêt Noire devrait être placé dans le Buntsandstein inférieur tandis que le Conglomérat de

base du Hauptbundsandstein du Palatinat correspondrait plutôt à un deuxième niveau conglomératique que l'on observe sur la rive droite du Rhin, très au-dessus du Conglomérat d'Eck.

Ajoutons que dans le Trifelssandstein, les stratifications obliques et entrecroisées prédominent.

TABLEAU IV

Divisions du Buntsandstein moyen dans le Palatinat et en Lorraine.

FORMATIONS REPRESENTÉES DANS LE PALATINAT	FORMATIONS REPRESENTÉES EN FRANCE (LORRAINE-ALSACE)
Violette Grenzzone <i>Hauptkonglomerat</i>	Zone-Limite-Violette <i>Conglomerat principal</i>
<i>Trippstadt</i> ou <i>Karlstalschichten</i> } = Sm^2	<i>Grès vosgien supérieur</i>
<i>Rehbergsschichten</i> <i>Trifelsschichten</i> avec <i>Unterer</i> <i>Felshorizont</i> } Sm^1	<i>Grès vosgien inférieur</i> avec <i>Conglomerat inférieur</i>

2° Le « **Rehbergsandstein** », épais de 90 à 100 m, est très semblable au précédent mais contient moins de galets; la teneur en feldspath diminue vers le haut ainsi que la quantité de nodules d'oxyde de manganèse; la couleur est brun-rouge clair.

3° Le « **Karlstalsandstein** » ou « **Trippstadtsandstein** », épais de 130 à 140 m, est moins dur que les précédents, pauvre en feldspath et les nodules d'oxyde de manganèse ont disparu. La stratification oblique est rare, l'entrecroisée plus encore; c'est la stratification horizontale qui domine nettement. La coloration varie du brun-rouge vif au blanc-jaunâtre. Les ripple-marks sont fréquents et entre les bancs de grès s'intercalent de petits bancs argileux. Les galets se raréfient encore jusqu'à disparaître totalement. Enfin, à leur sommet, ces grès montrent une désagrégation en boules (= *Kugelfelszone* ou *Kugelfelshorizont*); cette zone, épaisse de 4 à 10 m, se trouve plaquée sous le Hauptkonglomerat.

L'attention est attirée sur le fait qu'on passe insensiblement d'une série à l'autre et qu'il est difficile, voire impossible, de distinguer des limites nettes et franches.

En revanche, il serait *plus facile d'opposer* Sm^1 et Sm^2 :

- d'après la dureté de la roche;
- d'après sa teneur en feldspath, en galets et en nodules d'oxyde de manganèse;
- et aussi d'après la stratification.

C'est ainsi que ces grès sont cartographiés et généralement décrits, bien que la limite entre ces deux séries soit, elle aussi, fort imprécise.

4° Le **Hauptkonglomerat** (= *h* des cartes allemandes).

Bien que la plupart des géologues allemands, suivis en cela par N. THEOBALD (1951a) et par J. RICOUR (1956), placent le Hauptkonglomerat à la base du Buntsandstein supérieur, nous le plaçons, nous, au sommet du Buntsandstein moyen comme le font généralement les auteurs français — tous les anciens auteurs tels que L. ELIE DE BEAUMONT (1829, 1841), A. DAUBRÉE (1852) et quelques auteurs modernes : G. GARDET (1939), G. DUBOIS (1948) — ainsi que quelques auteurs allemands : F. FORCHE (1935), E. MULLER (1954b); nous exposons plus loin nos raisons (voir p. 64).

Ce Hauptkonglomerat a une épaisseur de 20 m environ, d'ailleurs légèrement variable : plus épais au centre du synclinal palatin, vers Pirmasens, il l'est beaucoup moins sur les bords de celui-ci, vers Landstuhl et Kaiserslautern; c'est un conglomérat bien formé, dont le ciment gréseux est en tous points semblables au grès (Sm^2) sous-jacent; les galets (quartz et quartzite) sont abondants à la base des bancs, plus rares, parfois même absents au sommet. C'est LEPSIUS

(1875, p. 94) qui fit ressortir l'individualité de cette formation et l'utilisa comme horizon-repère; il signala par la même occasion qu'ELIE DE BEAUMONT, DAUBRÉE, KOECHLIN-SCHLUMBERGER ... avaient déjà décrit ce conglomérat dans leurs coupes mais qu'ils n'avaient jamais songé à l'utiliser comme horizon-repère.

Ce Hauptkonglomerat se termine en général par un **Banc à cornaline** (*Karneolbank*), qui n'est pas développé partout de la même façon et peut parfois faire défaut, notamment au centre du synclinal, vers Pirmasens (K. STAESCHE, 1927).

D. — LE BUNTSANDSTEIN MOYEN DES VOSGES GRESEUSES SEPTENTRIONALES (BASSE-ALSACE ET LORRAINE SEPTENTRIONALE)

Nous désignons ainsi la partie des Vosges Gréseuses située au N des Vosges cristallines, c'est-à-dire au N d'une ligne passant par Cirey-sur-Vezouse, le Nideck et Sultz-les-Bains (entre Wasselonne et Molsheim); ce territoire est couvert par les cartes au 1/50 000 de Bitch, Lembach, Bouxwiller, Haguenau, Sarrebourg et Saverne.

Le Buntsandstein moyen de cette région a fait l'objet de descriptions anciennes de la part de L. ELIE DE BEAUMONT (1827, 1841), de F. VON ALBERTI (1834), de A. DAUBRÉE pour le Bas-Rhin (1852) et de E. JACQUOT pour la Moselle (1868); il existe peu de descriptions récentes : quelques lignes de F. FORCHE (1935) reprises par N. THEOBALD (1951) et quelques articles de G. DUBOIS (1948, 1955).

Ce Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses septentrionales est semblable à son homologue palatin qui n'en constitue d'ailleurs que le prolongement vers le NE; on le **subdivise facilement en deux parties** :

- une **partie inférieure** ou **Grès vosgien** (E. VOLTZ, 1823);
- une **partie supérieure** ou **Conglomérat principal** (A. de LAPPARENT, 1883).

1° Le Grès vosgien.

Il est l'homologue du *Hauptbuntsandstein* allemand, mais ici, les trois parties du Hauptbuntsandstein (Grès de Trifels, de Rehberg, de Trippstadt) ne peuvent plus être distinguées; il est tout au plus possible de subdiviser cette formation en deux parties : le **Grès vosgien supérieur** et le **Grès vosgien inférieur**.

a) Le Grès vosgien inférieur.

Il correspond au *Sm¹* du Palatinat et affleure principalement :

- sur la feuille de Lembach : au-dessus du Grès d'Annweiler quand celui-ci existe, ou directement au-dessus du Permien;
- sur la partie orientale de la feuille de Bouxwiller.

Ce Grès vosgien inférieur peut lui-même être subdivisé en deux parties :

- à la base, une partie conglomératique qui a été appelée « *Conglomérat de base* » par quelques auteurs (G. CHUBERT et G. GARDET, 1935) et « *Conglomérat inférieur* » par d'autres (E. HAUG, traité p. 868); nous préférons nettement cette deuxième appellation qui ne préjuge pas de l'origine de ce conglomérat;

- au-dessus, le « *Grès vosgien inférieur proprement dit* ».

α) Le Conglomérat inférieur.

Il n'affleure pas souvent et il n'est possible de l'étudier qu'en carrière ou à l'occasion de tranchées fraîchement ouvertes : c'est en effet un conglomérat peu cohérent à matrice sableuse friable; il donne des pentes douces qui font suite à celles du Buntsandstein inférieur ou du Permien et qui, comme elles, sont recouvertes par la végétation. Le Grès vosgien qui le surmonte est beaucoup plus dur et comme il contient aussi quelques galets, il fut parfois confondu avec le Conglomérat de base et décrit comme tel (E. HAUG, traité t. II, p. 868).

A titre d'exemple nous décrivons le Conglomérat inférieur qui affleure au sommet de la carrière de Grès d'Annweiler, exploitée comme sablière à *Philippsbourg* (feuille de Lembach, quart n° 5, 0,9 km SSE de l'église; *x* : 488,05; *y* : 241,6 (*).

1. — *La matrice* qui unit les galets est essentiellement sableuse et friable.
 — *Sa composition minéralogique* est simple : 75 à 80 % environ de grains de quartz assez peu usés, 20 à 22 % de grains d'orthose peu altérés, 3 à 4 % de muscovite.
 — La taille moyenne des grains n'offre rien de spécial : diamètre moyen : 0,25 mm; mode : 0,35 mm.

— La couleur est brun-rouge clair.

2. — *Les galets* sont abondants.

— Leur nature est peu variée : 35 % environ de quartzite, 60 % environ de quartz et 5 % environ de granite et de gneiss.

— Leurs dimensions : Le plus grand galet mesuré dans cette carrière ou dans les environs présentait les mensurations suivantes : longueur : 70 mm, largeur : 44 mm, épaisseur : 37 mm; quant au galet moyen type : longueur : 25 mm, largeur : 20 mm, épaisseur : 13 mm; ensuite on passe progressivement aux galets plus petits, puis aux granules et enfin aux sables comme en fait foi la courbe granulométrique construite après tamisage d'un échantillon brut (fig. 10 D, courbe 1).

— Les mesures morphométriques matérialisent la ressemblance de ces galets avec ceux du Grès vosgien inférieur ou ceux du Conglomérat principal (cf. 2^e partie, chap. II, p. 138) :

— Indice d'émoussé : 257.

— Indice d'aplatissement : 215.

— Indice de dissymétrie : 620.

La valeur de ces indices dénote un **mode de transport et de dépôt de type fluvatile**.

3. — *Épaisseur du Conglomérat inférieur*.

Partout où il fut possible de mesurer l'épaisseur de cette formation, nous avons trouvé une dizaine de mètres environ.

4. — *Limite inférieure*.

Nous n'avons pu l'observer que dans la carrière de Philippsbourg : le passage entre le Grès d'Annweiler et le Conglomérat inférieur est très diffus; les galets apparaissent progressivement sur une épaisseur de 1 m environ; il n'est donc pas possible de tracer une limite avec une précision de l'ordre du centimètre comme nous avons pu le faire pour les autres formations du Buntsandstein.

5. — *Limite supérieure*.

Étant donné le petit nombre et l'extension verticale restreinte des affleurements, je n'ai pu observer cette limite nulle part.

6. — *Place du Conglomérat inférieur : au sommet du Grès d'Annweiler ou à la base du Grès vosgien ?*

Tous les auteurs ont jusqu'ici placé ce conglomérat à la base du Grès vosgien. Mais étant donné l'absence de limite nette entre Grès d'Annweiler et Conglomérat inférieur, nous serions assez enclin à unir ces deux formations et à séparer le Conglomérat inférieur du Grès vosgien; mais ne possédant, par manque d'affleurements, que trop peu d'éléments, nous ne nous risquerons pas à trancher cette question dans un sens ou dans un autre et, jusqu'à plus ample informé, nous **maintiendrons ce conglomérat à la base du Grès vosgien**.

Ce Conglomérat inférieur est l'équivalent de l'*unterer Felshorizont* qui se trouve à la base des Trifelsschichten du Palatinat; mais il convient d'émettre les plus grandes réserves sur son assimilation avec le Conglomérat d'Eck de la rive droite du Rhin.

β) *Le Grès vosgien inférieur proprement dit*.

Le Grès vosgien inférieur affleure très abondamment sur tout le territoire de la feuille de Lembach; c'est lui qui constitue la plus grande partie du sous-sol des vastes forêts domaniales de Lembach, de Katzenthal, de Dambach et de Niederbronn et qui forme les rochers escarpés, couronnés par les ruines féodales de Fleckenstein, de Windstein, de Wineck, de Hohenfels, de Falkenstein...

Il affleure très souvent aussi sur le territoire de la feuille de Bouxwiller, dans les vallées du Rothbach, de la Moder... et il y est exploité en un certain nombre de carrières, comme par exemple à Rothbach (0,9 km NW de Rothbach; x : 979,7; y : 147,9), sur la route de Rothbach à Reiperstswiller, où il existe deux carrières superposées : la carrière inférieure est taillée dans le *Grès vosgien inférieur* qui présente toutes les caractéristiques énumérées plus haut, tandis que la carrière supérieure, taillée dans le *Grès vosgien supérieur* sera évoquée plus loin.

Ce Grès vosgien a été très souvent décrit; aussi n'insisterons-nous que sur les aspects peu connus de son faciès, ou pour préciser des points importants et restés jusqu'à présent dans l'ombre.

1. — La couleur est brun-rouge clair, mais ce caractère n'est pas constant et il peut arriver qu'à l'intérieur d'un banc brun-rouge, on observe des bandes irrégulières qui présentent une coloration blanche; le passage d'une coloration à l'autre peut être diffus (pl. III, fig. D), ou au contraire tranché (pl. III, fig. E). Une carrière particulièrement intéressante à ce point de vue est celle située à 2,1 km NNE de *Niederbronn* (feuille de *Lembach*, quart n° 1; $x = 493,90$; $y = 240,95$ *) où l'on peut observer tous les types de coloration et des types très divers de passage d'une coloration à l'autre (cf. 3^e partie, chap. I, p. 187). La présence d'un assez grand nombre de *nodules d'oxyde de manganèse* confère à la roche un aspect moucheté très caractéristique.

2. — Etude pétrographique.

— Un examen à l'œil nu révèle qu'à côté des quartz, il existe des feldspaths assez abondants, mais que le mica est absent.

— L'examen au microscope précise la composition minéralogique : quelques comptages effectués sur lames minces ont permis de préciser les pourcentages relatifs des principaux constituants du Grès vosgien inférieur (cf. tableau V) et de constater que ces grès appartiennent à la catégorie des grès arkosiques.

TABLEAU V

Composition minéralogique de quelques échantillons de Grès vosgiens inférieur.

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
Philippsbourg (ruine de Falkenstein)	78	22	0
Philippsbourg	77	23	0
Niederbronn	81	19	0
Zinswiller	82	17	1

L'examen microscopique permet aussi de constater que les grains de quartz sont généralement bien arrondis et contigus et délimitent entre eux des vides qui confèrent à la roche un aspect poreux qu'on retrouve sur les échantillons massifs; ces quartz ne sont pas engrenés les uns dans les autres, sauf dans les échantillons en provenance de *Niederbronn-les-Bains* où des *nourissages* secondaires vraiment visibles et notables ont été décelés : cette observation est à rapprocher de celle du même ordre faite à propos du Grès d'Annweiler de ce secteur (cf. p. 19).

Les inclusions des quartz sont uniquement gazeuses et liquides; enfin, un certain nombre de quartz mosaïque a été décelé.

3. — Granulométrie (cf. 2^e partie, chap. I et fig. 11 A).

Le diamètre moyen des grains est situé aux environs de 0,25 mm et le mode oscille entre 0,24 et 0,35 mm.

Deux remarques peuvent être formulées :

— la granulométrie du Grès vosgien inférieur est nettement plus grossière que celle du Grès d'Annweiler; conjointement à d'autres critères, elle permet donc une distinction de ces deux formations;

— en revanche, la granulométrie du Grès vosgien inférieur est à peine plus grossière que celle du Grès vosgien supérieur : ce critère ne permet donc pas une distinction de ces deux formations.

4. — Les galets.

Ils sont généralement groupés en petits lits à la base des bancs, donnant à ces bases un aspect conglomératique sur une épaisseur qui n'excède toutefois pas 10 à 20 cm; au-dessus, les galets se raréfient considérablement et on n'en compte pas plus d'une centaine par mètre carré d'affleurement; cependant, il arrive que certains bancs, épais de 0,50 à 1 m, renferment de très nombreux galets et présentent alors un aspect conglomératique.

Ces galets présentent les mêmes caractéristiques que celles des galets du Conglomérat inférieur sous-jacent et que celles des galets du Conglomérat principal.

Il convient d'ajouter que l'on peut observer de nombreux galets d'argile (*Tongallen* des auteurs allemands), qui ont une origine très différente de celle des autres galets : ils sont aplatis, bien roulés, colorés en brun-rouge et constitués par de nombreux et très minces feuilletés d'argile; leur taille varie de 2 à 10 cm et ils sont surtout fréquents à la base des bancs. Or, entre deux bancs

successifs de grès, on peut très souvent observer qu'il existe un petit banc, de quelques centimètres seulement d'épaisseur, d'une argile en tous points identique à celle qui constitue les galets. Tout porte donc à croire que les galets d'argile sont les produits de remaniement de ces couches argileuses (cf. p. 57 et fig. 32).

5. — *La stratification* est rarement horizontale, plus souvent oblique ou entrecroisée (cf. tableau XL, p. 172).

6. — *Conclusion :*

Ce Grès vosgien inférieur présente les caractères dominants suivants :

- couleur brun-rouge clair;
- abondance des feldspaths : ce grès est arkosique;
- présence de nombreux nodules d'oxyde de manganèse;
- présence fréquente de galets;
- stratification oblique ou entrecroisée;
- diamètre moyen des grains : 0,25 mm.

b) *Le Grès vosgien supérieur.*

Il correspond au Sm² du Palatinat; il est situé stratigraphiquement au-dessus du précédent à l'WNW duquel il affleure très largement, étant donné que le pendage, très général et d'une valeur de 2° à 3°, s'incline dans cette direction. Il relaie donc vers l'W le grès précédent dans la constitution du sous-sol et sert d'assise aux forêts domaniales de Bitche, de La Petite Pierre, de Bouxiller et de Dabo. C'est lui qui constitue un certain nombre de sommets couronnés par quelques châteaux forts, comme celui de Lichtenberg, bien connu des touristes.

1. — *La couleur* est généralement brun-rouge clair, parfois jaunâtre ou même blanchâtre : un bon exemple peut être pris au *Col du Pigeonnier* (feuille de Lembach, quart n° 8, entre Lembach et Wissembourg, à 5 km de cette dernière localité) où deux anciennes carrières ($x : 511,0$; $y : 247,2$ et $x : 511,1$; $y : 247,5$ (*) montrent un grès brun-jaunâtre très clair; de même, 1 km plus bas, dans une ancienne carrière ($x : 511,8$; $y : 247,75$ (*) située entre les deux épingles à cheveux de la route, le grès très sableux et friable, blanc ou jaune-clair, présente ça et là quelques rares bancs de grès brun-rouge clair.

Une autre carrière intéressante est située non loin de la Cave-coopérative de *Cleebourg* (feuille de Lembach, quart n° 8; $x : 511,3$; $y : 246,75$ (*), où l'on exploite encore un très beau grès blanc-rosé qui se présente en bancs massifs, de 0,5 à 3 m d'épaisseur.

Dans les nombreuses autres carrières de cette région comprise entre Wissembourg et Phalsbourg, il est possible d'observer la totalité de ces colorations très diverses et qui sont, dans l'ordre de leur fréquence : brun-rouge clair, brun-rouge foncé, brun-jaunâtre et enfin blanchâtre. Parfois aussi, on peut observer dans un même banc une alternance, régulière ou non, de lits blanchâtres et de lits brun-rouge clair.

2. — *Etude pétrographique.*

— Examen à l'œil nu.

A côté des nombreux grains de quartz diversement colorés, on observe des grains de feldspaths en plus ou moins grand nombre et on constate l'absence des micas.

— *Examen au microscope.*

Dans le tableau VI, nous avons indiqué les pourcentages relatifs des principaux constituants du Grès vosgien de toute la Lorraine et de l'Alsace. En Lorraine septentrionale et en Basse-Alsace (§ 1) tout comme ailleurs, ces pourcentages sont très irréguliers. Néanmoins, on voit que dans l'ensemble ces grès peuvent être considérés comme des grès arkosiques.

Cet examen microscopique permet aussi de constater la très grande ressemblance qui existe entre Grès vosgien supérieur et Grès vosgien inférieur : les grains de quartz sont généralement bien arrondis et contigus, délimitant entre eux des vides qui confèrent à la roche un aspect poreux.

Les phénomènes de silicification sont rares sauf dans les champs de fractures du versant alsacien : là, les grains de quartz sont secondairement nourris en abondance et leur croissance les a poussés à s'engrener les uns dans les autres.

La présence de quartz mosaïque est générale.

Les quartz renferment de nombreuses inclusions gazeuses et liquides.

TABLEAU VI
Composition minéralogique du Grès vosgien.

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
1 - Lorraine septentrionale et Basse-Alsace (Grès vosgien supérieur seulement)			
Bitche (Camp de Bitche)	95	5	0
Lutzelbourg (S de Phalsbourg)	86	14	0
Marlenheim-Le Krontal (entre Wasselonne et Strasbourg)	74	25	1
2 - Lorraine centrale et méridionale			
Val-et-Châtillon (scierie de Châtillon)	87	13	0,01
Bruyères (Haut de Heldraye)	91	9	0,01
Biffontaine (E de Bruyères)	84	14	2
Epinal (Fort de la Mouche)	93	7	0,01
3 - Alsace moyenne et méridionale			
Gare de Heiligenberg (entre Molsheim et Schirmeck)	88	12	0
Montagne de Sainte-Odile (échantillon prélevé à proximité du socle hercynien)	62	38	0
Voegtlinshoffen (SW de Colmar)	83	17	0

3. — *Etude morphoscopique des grains de quartz* (cf. 2^e partie, chap. III, p. 155).

Cette étude révèle une forte proportion de grains parfaitement sphériques ou ovoïdes et une infime proportion de subanguleux ou d'anguleux.

Elle nous a aussi permis d'observer de très fines microsilicifications qui enrobent le grain et lui confèrent un aspect dépoli, ainsi que des macrosilicifications en fines aiguilles qui semblent fichées dans le grain ou en grosses pyramides qui enrobent le grain (fig. 23, p. 155).

4. — *Granulométrie* (cf. 2^e partie, chap. I et fig. 11 B).

Le diamètre moyen des grains oscille entre 0,14 et 0,24 mm avec une plus grande fréquence située vers 0,20 mm.

Le mode oscille entre 0,21 et 0,25 mm avec une plus grande fréquence située vers 0,24 mm.

La forme des courbes traduit l'excellent classement des matériaux.

5. — *La stratification* est souvent horizontale ou oblique, plus rarement entrecroisée (cf. tableau XL, p. 172 et planche II).

6. — *Les galets.*

D'après les auteurs allemands, le grès du Sm² (Grès vosgien supérieur) ne contient pas de galets. C'est vrai en général mais souffre bien des exceptions; nous allons le montrer en discutant les critères de distinction entre Grès vosgien inférieur et Grès vosgien supérieur et la limite entre ces deux formations.

c) *Les critères de distinction entre Grès vosgien inférieur et Grès vosgien supérieur.*

a) *Enoncé des critères.*

Ainsi qu'ils l'avaient fait dans le Palatinat, les auteurs allemands ont distingué dans les Vosges Gréseuses le grès Sm¹ (c'est notre Grès vosgien inférieur) et le grès Sm² (c'est notre Grès vosgien supérieur), qu'ils séparent de la façon suivante :

— *Le Grès vosgien inférieur* contient des galets et des nodules d'oxyde de manganèse; il est feldspathique et la stratification y est surtout oblique ou entrecroisée.

— Le Grès vosgien supérieur ne contiendrait ni galets, ni feldspaths, ni nodules d'oxyde de manganèse et la stratification y serait surtout horizontale ou faiblement oblique.

β) Discussion de ces critères.

1. — Les feldspaths.

C'est surtout F. FORCHE (1935, pp. 24 et 25) qui distingue le Sm¹ du Sm² d'après la teneur en feldspath et en kaolin : celle-ci serait forte dans Sm¹ et décroîtrait de façon sensible dans Sm². Or, nous avons montré que le Grès vosgien est partout très feldspathique et que, s'il existe une différence quantitative, c'est à l'échelle du banc et non pas de la formation qu'elle existe : en effet certains bancs sont feldspathiques, d'autres le sont peu, et cela aussi bien à la base qu'au milieu ou qu'au sommet de la formation du Grès vosgien.

2. — La stratification.

Statistiquement elle est évidemment plus souvent horizontale ou légèrement oblique dans le Grès vosgien supérieur et plus souvent entrecroisée ou fortement oblique dans le Grès vosgien inférieur; cependant, tous ces types coexistent et alternent dans l'un et l'autre niveau.

3. — Les galets.

Bien sûr les galets sont particulièrement nombreux dans le Grès vosgien inférieur, mais il en existe aussi dans le Grès vosgien supérieur, disséminés dans la masse, à raison de 1 à 10 par m² d'affleurement ou, encore, groupés et formant alors de véritables bancs conglomératiques. A titre d'exemple, nous citerons les trois carrières suivantes :

— A 9 km E de Bitche (feuille de Bitche, quart n° 4, x : 980,5; y : 163,8), grande carrière située sur la route de Bitche à Lembach, actuellement encore exploitée pour moellons; elle présente sur toute la hauteur d'un front de taille de quarante mètres environ une série de bancs, de 4 à 7 m



FIG. 3. — Sédimentation granodécroissante dans le Grès vosgien : coupe dans la carrière de Grès vosgien située entre Bitche et Lembach; remarquer la stratification oblique.

d'épaisseur, constitués par un grès brun-rouge contenant par m² d'affleurement 5 à 6 galets de 2 à 4 cm de longueur en moyenne (fig. 3). De plus, on peut observer que chaque banc :

— débute, à la base, par un mince lit (2 à 3 cm d'épaisseur) de grès grossier conglomératique, constitué par une ou deux rangées de petits galets de quartz auxquels se mêlent quelques galets d'argile;

— se poursuit par plusieurs mètres d'un grès d'abord grossier (ø moyen des grains : 0,24 mm), puis moyen (ø des grains : 0,20 mm);

— s'achève, au sommet, par un lit argileux, de quelques centimètres d'épaisseur, constitué par de fines pellicules d'argile compacte. Chaque banc constitue ainsi un cyclothème bien net (cf. 3^e partie, chap. III, p. 200).

— Petite carrière située à la sortie N de Lutzelbourg, sur la route de Phalsbourg (feuille de Saverne, quart n° 1; x : 961,3; y : 127,0); on peut observer de haut en bas la coupe suivante :

— 5 m : faciès « Grès vosgien supérieur » : grès en bancs de 5 à 10 cm, rouge-foncé et versicolore, sans galets, tendre, à stratification horizontale.

— 4,5 m : faciès « Grès vosgien inférieur » : grès massif, rouge clair, quelques galets (2 à 3 au m²) de quartz (75 %) et de quartzite (25 %), à stratification oblique, par endroit légèrement entrecroisée.

De par sa position, cette carrière, dont le pied est situé à 30 m au-dessous de la base du Conglomérat principal, doit être placée en totalité dans le « Grès vosgien supérieur » ; située une centaine de mètres plus bas, elle pourrait être citée en exemple d'une limite particulièrement nette et précise entre Grès vosgien supérieur et Grès vosgien inférieur; mais placée là, elle montre que le faciès « Grès vosgien inférieur » peut se répéter à l'envi jusque sous le Conglomérat principal.

— *Grandes carrières du Kronthal*, entre Wasselonne et Marlenheim (feuille de Saverne, quart n° 8; $x : 978,2$; $y : 116,5$); au sommet de ces carrières, qui sont taillées dans le Grès vosgien supérieur, on peut observer de véritables bancs de conglomérat, de 0,5 à 1 m d'épaisseur, intercalés entre les bancs de grès.

Toujours à propos des galets, signalons que ceux-ci réapparaissent toujours dans les derniers mètres du Grès vosgien supérieur, à peu de distance du Conglomérat principal sus-jacent; nous en verrons maints exemples dans le paragraphe suivant (p. 34 à 37).

En guise d'épilogue, ajoutons que E. BENECKE (1878) a signalé qu'il existait des galets à tous les niveaux du Grès vosgien.

4. — *Les nodules d'oxyde de manganèse.*

Le Grès vosgien inférieur en est suffisamment riche pour justifier le nom de *Grès tigré* que lui avait donné VOLTZ en 1823 mais qui, depuis, a été réservé au Grès d'Annweiler du Buntsandstein inférieur.

Pratiquement ces nodules disparaissent dans le Grès vosgien supérieur bien qu'il nous soit arrivé d'en observer sporadiquement dans cette formation.

γ) *Conclusion.*

Un certain nombre de critères avait permis aux auteurs allemands de distinguer dans les Vosges gréseuses un grès Sm¹ (Grès vosgien inférieur) et un grès Sm² (Grès vosgien supérieur). Or isolément, aucun des critères ne permet d'effectuer une telle séparation; mais leur association permet de définir deux faciès différents du Grès vosgien, l'un que l'on trouve essentiellement à la partie inférieure de cette formation et l'autre à la partie supérieure; cependant ces deux faciès peuvent s'entremêler à quelque niveau que ce soit.

d) *Limite entre Grès vosgien inférieur et Grès vosgien supérieur.*

Cette limite est impossible à tracer avec précision, car chacun des quatre critères envisagés présente une extension verticale différente de celle des autres : E. KRAUS (1925) place cette limite là où cessent les taches de pseudomorphose d'oxyde de manganèse. Or comme F. FORCHE (1935, p. 25) l'indique, ces taches de pseudomorphose ne sont pas utilisables pour le tracé de la limite Sm¹/Sm², pas plus en Alsace qu'en Lorraine; pour cet auteur, ce sont les feldspaths qui fournissent la meilleure limite, mais nous venons de voir que c'est inexact. Il en est de même pour les galets et pour la stratification. Une limite nette et précise est donc impossible à tracer.

e) *Epaisseur du Grès vosgien dans les Vosges Gréseuses septentrionales* (tableau VII).

Malgré tout, il est possible d'évaluer de façon approchée l'épaisseur de ces deux parties du Grès vosgien : F. FORCHE (1935, p. 39-40), cite quelques chiffres fondés sur ses observations et sur celles de ses prédécesseurs; vérification faite, ils sont convenables et nous pouvons les retenir; ils font apparaître une diminution d'épaisseur du Grès vosgien vers le SSW.

TABLEAU VII
Epaisseur du Grès vosgien dans les Vosges Gréseuses septentrionales

Parallèles suivant lesquels les mesures ont été effectuées	Grès vosgien inférieur	Grès vosgien supérieur
Pirmassens-Wissembourg	200 à 230 m	170 à 180 m
Bitche-Stürzelbronn-Lembach	200 m env.	160 à 180 m
Goetzenbrück-Niederbronn	180 à 200 m	160 à 170 m
La Petite Pierre-Neuwiller	160 à 180 m	160 m env.
Phalsbourg-Saverne	130 m env.	200 m env.

2° Le Conglomérat principal.

Ce terme est la traduction par A. DE LAPPARENT (1883) du terme « *Hauptkonglomerat* » de E. BENECKE (1878, p. 47).

a) Limite inférieure.

Il est classique de placer cette limite inférieure là où les galets apparaissent en grand nombre; mais alors la précision est mince car, nous venons de le voir, déjà dans le sommet du Grès vosgien supérieur apparaissent des galets, parfois en abondance. C'est pourquoi certains auteurs soutiennent que le passage entre Grès vosgien et Conglomérat principal est progressif et que la limite entre ces deux formations est difficile à saisir, tandis que d'autres auteurs déclarent que cette limite est très nette, au point qu'il est possible d'en faire la limite entre Buntsandstein moyen et Buntsandstein supérieur. Cependant nulle part dans la littérature ce passage progressif ou cette limite nette n'ont été décrits et aucun affleurement n'a jamais été cité; nous allons donc présenter quelques coupes qui nous permettront ensuite de proposer une solution (1) :

— *Feuille de Bitche, quart n° 4; 1,1 km de Liederschiedt; x : 975,25; y : 170,75; route de Waldhausen à Roppewiller :*

— *Couches intermédiaires inférieures.*

— *Conglomérat principal (15 m).*

- 2,00 m : grès brun-rouge sans galets; stratification oblique (90°/10°); (2);
- 3,00 m : conglomérat brun-rouge à nombreux galets; stratification oblique (40°/20°).
- 0,70 m : grès brun-rouge sans galets, stratification oblique (90°/10°);
- 2,30 m : conglomérat brun-rouge à galets assez peu nombreux.
- 1,15 m : grès brun-rouge sans galets, stratification oblique (90°/10°);
- 0,45 m : conglomérat brun-rouge à nombreux galets.
- 0,20 m : grès brun-rouge sans galets;
- 5,30 m : conglomérat brun-rouge à très nombreux galets.

— *Grès vosgien supérieur.*

- 0,02 m : **lit d'argile brun-rouge en minces feuillets horizontaux;**
- 0,40 m : **grès à grain très fin, à stratification horizontale (dépôt pelliculaire),** présence de 1 à 2 galets par m² d'affleurement;
- 1,00 m : grès brun-rouge; 10 à 15 galets par m² d'affleurement stratification entrecroisée (anciens chenaux de 1 à 2 m de largeur);
- 1,00 m : grès brun-rouge sans galets à grain fin; dépôt pelliculaire, horizontal;
- 2,00 m : grès brun-rouge, 100 galets au m², stratification entrecroisée avec courants de directions très diverses (120°/10° et 230°/15°);
- 1,00 m : grès brun-rouge, 100 galets au m², stratification oblique (90°/8°); érosion alvéolaire;
- 0,50 m : grès brun-rouge à grain fin, sans galets, stratification horizontale;
- 1,40 m : grès brun-rouge, 5 à 10 galets au m², stratification oblique (90°/15°);
- 0,60 m : grès brun-rouge à grain fin, pas de galets, stratification horizontale.

— *Feuille de Saverne, quart n° 2; 0,4 km N de Saint-Jean-Saverne; Rocher Saint-Michel; x : 969,25; y : 131,75.*

- 14 m : *Conglomérat principal* constitué, comme à Liederschiedt, d'une alternance de bancs de conglomérat à stratification oblique (90°/17° à 100°/17°) et de bancs de grès.
- 0,50 m à 5 m selon les endroits ; *Grès vosgien supérieur* se subdivisent ainsi :
 - 0,02 à 0,03 m : lit d'argile brun-rouge en minces feuillets horizontaux;
 - 0,5 m : grès brun-rouge, sans galets, à stratification horizontale, à grain très fin (dépôt pelliculaire);
 - Alternance de bancs de grès brun-rouge à grain normal, avec quelques galets disséminés dans la masse (de 10 à 100 au m²), à stratification oblique (70°/15°) ou entrecroisée (nombreux chenaux de 2 à 3 m de largeur : 115°/15° et 70°/14°), et de bancs de grès brun-rouge, à grain fin, sans galets, à stratification horizontale.

(1) Je tiens à remercier tout particulièrement ici mon ami E. Müller qui m'a indiqué les critères lui ont permis en Sarre de séparer Grès vosgien et Conglomérat principal et m'a accompagné en Lorraine, sur le terrain, où nous eûmes des discussions fructueuses qui m'ont permis de mener à bien cette question.

(2) Tous les détails sur les divers types de stratification et sur leur mode de représentation sont exposés dans la 2° partie au chap. IV, p. 167 et 168.

— Feuille de Saverne, quart n° 1; 1,2 km N de Lützelbourg; escarpement situé au pied des Baraques-des-Trois-Maisons, dans le fond d'un vallon affluent de la Zorn; x : 961,0; y : 127,8; (fig. 4).

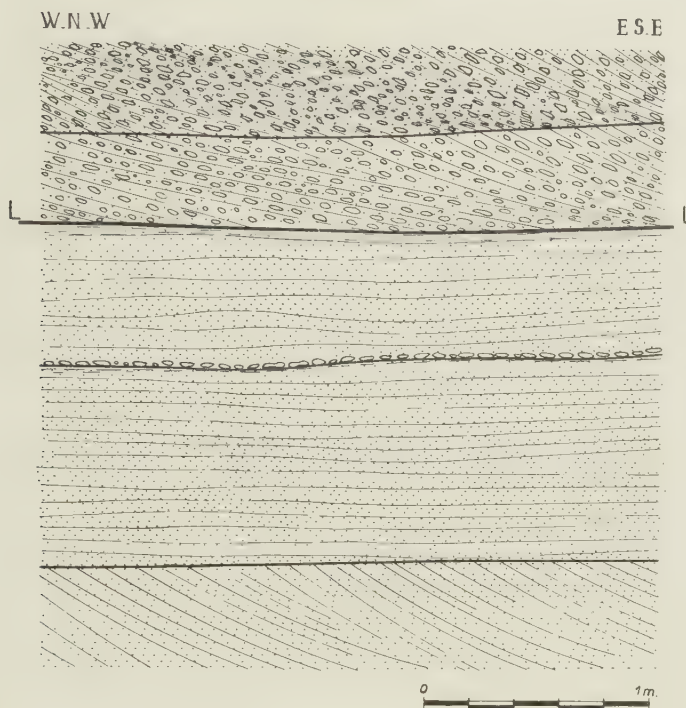


FIG. 4. — Contact entre Conglomérat principal et Grès vosgien à Lützelbourg (dessin schématique d'après photographie)
LL = limite entre Conglomérat principal (au-dessus) et Grès vosgien (au-dessous); remarquer les deux types de stratification : oblique et horizontale.

— Couches intermédiaires inférieures.

— Conglomérat principal (21 m) formant une falaise constituée de haut en bas par :

- 2,00 m : sommet de la falaise : banc de grès brun-rouge foncé sans galets;
- 18,00 m : série de bancs, dont chacun représente un rythme de sédimentation, caractérisé par une sédimentation oblique ($50^{\circ}/20^{\circ}$) ou entrecroisée ($140^{\circ}/10^{\circ}$) et constitué de haut en bas par :
 - grès brun-rouge foncé, à grain moyen, sans galets;
 - conglomérat brun-rouge, à galets de peu abondants à abondants et ciment formé de grains grossiers;
 - conglomérat brun-rouge clair à galets d'abondants à très abondants;
- 0,50 m : grès très légèrement conglomératique (galets peu nombreux) à sédimentation oblique ($50^{\circ}/12^{\circ}$);
- 0,50 m : grès ne contenant que quelques galets, à sédimentation oblique ($150^{\circ}/10^{\circ}$);
à la base du banc, on peut observer un petit lit constitué par des galets d'argile brun-rouge remaniés du lit sous-jacent.

— Grès vosgien supérieur.

- 0,01 à 0,02 m : Lit d'argile brun-rouge en minces feuillets horizontaux;
- 0,50 m : grès brun-rouge à stratification horizontale et présence de micas assez nombreux disposés à plat, indiquant une sédimentation calme;
à la base, un lit de petits galets bien roulés;
- 1,00 m : grès brun-rouge, à stratification horizontale et présence de micas assez nombreux;
à la base, un lit de petits galets bien roulés;
- 0,50 m : grès brun-rouge, à stratification oblique ($90^{\circ}/15^{\circ}$).

— *Feuille de Saverne, quart n° 2*; 1,5 km WSW de *Haegen*; bordure N du *Brotschberg*; $x : 967,0$; $y : 124,8$. (*Roche Krapenfels*).

— *Conglomérat principal* (14,35 m) :

— sommet de la table de *Conglomérat principal*;

— 0,60 m : *conglomérat brun-rosé*, quelques galets, stratification oblique ($120^\circ/10^\circ$);

0,10 m : *grès brun-rouge*, sans galets, stratification horizontale,

1,80 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($130^\circ/20^\circ$);

0,05 m : *grès brun-rouge*, sans galets, à grain très fin, quelques lits argileux, stratification horizontale (dépôt pelliculaire),

1,30 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($120^\circ/10^\circ$);

0,20 m : *grès brun-rouge* sans galets, à grain moyen, stratification oblique ($20^\circ/15^\circ$),

1,80 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($20^\circ/15^\circ$);

0,10 m : *grès brun-rouge*, sans galets, stratification oblique ($40^\circ/6^\circ$),

0,40 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($40^\circ/6^\circ$);

0,40 m : *grès brun-rouge*, quelques galets, stratification oblique ($40^\circ/6^\circ$),

0,60 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($40^\circ/6^\circ$);

0,70 m : *grès brun-rouge*, quelques galets, stratification oblique ($40^\circ/12^\circ$),

1,30 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($40^\circ/12^\circ$);

0,10 m : *grès brun-rouge*, très peu de galets, stratification oblique ($135^\circ/10^\circ$),

2,30 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets, stratification oblique ($135^\circ/10^\circ$);

0,60 m : *grès brun-rouge* sans galets, stratification oblique ($150^\circ/15^\circ$),

2,00 m : *conglomérat brun-rosé*, nombreux galets dans le mètre supérieur; appauvrissement progressif en galets au-dessous; demi-mètre inférieur constitué par un grès sans galets; stratification oblique ($45^\circ/7^\circ$),

— à la base, petit lit de galets d'argile.

— *Grès vosgien supérieur* : 0,30 m : grès à grain moyen contenant 1 ou 2 petits galets par m^2 d'affleurement; stratification oblique ($50^\circ/20^\circ$); à son sommet ce banc comporte des traces d'érosion.

— *Feuille de Saverne, quart n° 1*; 1,1 km NE de *Garrebours*, au bord de la route de *Garrebours* à *Lutzelbourg*; $x : 960,7$; $y : 124,8$; (fig. 5).

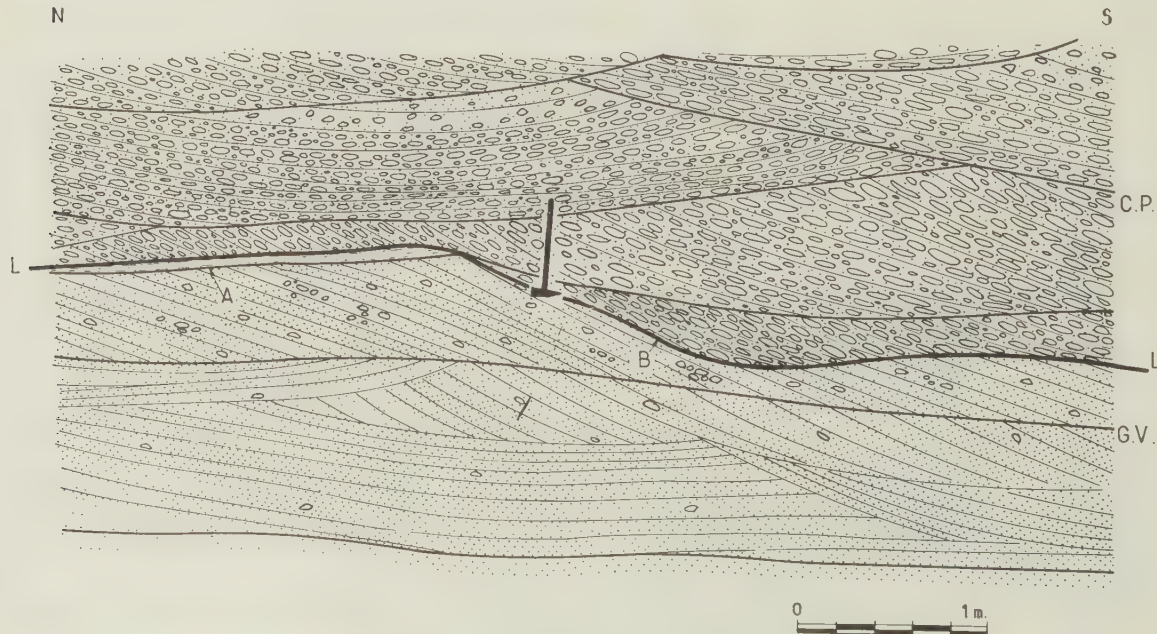


FIG. 5. — Contact entre *Conglomérat principal* et *Grès vosgien* à *Garrebours* (Moselle); (dessin d'après une photographie). LL : limite entre *Conglomérat principal* (CP) et *Grès vosgien* (GV); A : le sommet du *Grès vosgien* n'est pas érodé par le *Conglomérat principal* et les petits lits argilo-gréseux subsistent; B : *Grès vosgien* raviné par le *Conglomérat principal*

Une série d'escarpements permet de dresser la coupe suivante :

— *Conglomérat principal* (20 m), constitué comme dans l'exemple ci-dessus par une série de bancs dont chacun représente un rythme de sédimentation constitué de haut en bas par :

Grès brun-rouge foncé, sans galets,
Conglomérat brun-rouge clair.

La stratification est oblique ($40^{\circ}/20^{\circ}$) ou entrecroisée ($45^{\circ}/20^{\circ}$).

— *Grès vosgien supérieur* : l'affleurement, de 7 m de haut, nous montre :

— 2 m : grès contenant 100 à 150 galets au m^2 d'affleurement; ces galets sont nettement plus petits que dans le Conglomérat principal sus-jacent; la stratification est oblique ($45^{\circ}/20^{\circ}$) ou entrecroisée ($90^{\circ}/4^{\circ}$);

— 5 m : grès ne contenant plus que 1 à 2 galets au m^2 d'affleurement.

A la limite du Conglomérat principal et du Grès vosgien supérieur, nous avons pu observer (fig. 5) que le **Conglomérat principal** ravine très fréquemment le Grès vosgien (point B) et que, quand il n'existe pas de ravinement visible, le Grès vosgien s'achève au sommet par les mêmes petits lits argileux horizontaux que ceux vus précédemment (point A). Ici donc, le Grès vosgien supérieur s'achève, de la même façon qu'ailleurs, par une sédimentation très calme (lits d'argile), mais l'arrivée du Conglomérat principal a été plus brutale puisque celui-ci a raviné le grès sous-jacent.

— Nous signalons enfin un lieu bien connu des touristes : le *Haut-Barr* à 2,5 km au SSW de *Saverne*.

Au niveau du parc à voitures, la base du rocher est constituée par du Grès vosgien supérieur à stratification entrecroisée (nombreux chenaux) qui s'écoulent vers la direction E (cf. 2^e partie, chap. IV, p. 168 et fig. 25). Quelques mètres plus haut, au niveau de l'auberge, on peut observer la limite entre Conglomérat principal et Grès vosgien supérieur : celui-ci s'achève par un banc de grès à sédimentation horizontale recouvert par un lit de 0,5 à 3 cm d'une argile finement litée; le Conglomérat principal débute par un banc de grès ne comportant que peu de galets mais à la base duquel se trouve souvent un lit de petits galets de quartz. Parfois aussi, on peut observer des traces plus fortes d'érosion avec ravinement du Grès vosgien par le Conglomérat principal.

Conclusion à l'étude de la limite inférieure du Conglomérat principal.

La présence de bancs conglomératiques épais de plusieurs mètres fournit déjà une indication générale qui permet de situer une limite approximative.

Une limite précise peut en outre être tracée : le sommet du Grès vosgien est marqué par la présence de bancs de grès à stratification souvent horizontale et d'un très mince lit d'argile brun-rouge constitué par de minces feuillets horizontaux, témoignage d'une sédimentation plus calme.

Parfois, à la base du premier banc du Conglomérat principal, qui n'est d'ailleurs pas forcément conglomératique mais gréseux, on peut observer un mince lit de galets d'argile provenant du remaniement de la couche précédente légèrement érodée par le Conglomérat transgressif (Lutzelbourg).

Parfois aussi le lit argileux peut faire totalement défaut, mais alors, à la base du conglomérat on peut observer la trace d'une érosion légère accompagnée de galets d'argile (Brotschberg), ou beaucoup plus forte et sans galets (Garrebourog).

Enfin, il convient de noter que nulle part nous n'avons pu relever de discordance angulaire entre Grès vosgien et Conglomérat principal.

b) Description du Conglomérat principal.

Comme dans tout conglomérat, deux constituants sont à distinguer; d'une part les galets et, d'autre part, le « ciment » qui unit les galets entre eux.

a) Le ciment.

C'est un grès en tous points semblable au Grès vosgien sous-jacent.

1. — La couleur est toujours brun-rouge; elle est plus claire dans les parties conglomératiques et nettement plus foncée dans les parties gréseuses. On n'observe jamais de coloration jaunâtre ou blanchâtre comme dans le Grès vosgien.

2. — Etude pétrographique.

Le ciment du Conglomérat principal est constitué par les mêmes éléments que le Grès vosgien, ainsi qu'en témoignent quelques comptages pétrographiques effectués sur lames minces (tableau VIII) :

TABLEAU VIII

Composition minéralogique de quelques échantillons prélevés dans les parties gréseuses du Conglomérat principal

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
La Petite-Pierre	86	14	0
Walscheid (SE de Sarrebourg)	85	15	0
Val-et-Châtillon (près de Cirey-sur-Vezouse)	92	8	0

Par ailleurs, les lames minces taillées dans le Conglomérat principal ne diffèrent par aucun caractère de celles taillées dans le Grès vosgien.

3. — Analyses chimiques.

Six analyses chimiques ont été effectuées dans le Conglomérat principal, une par voie humide et cinq par quantométrie. Les échantillons ont été prélevés en des endroits fort éloignés les uns des autres : Sénargent (SW de Lure), Relanges et Claudon près de Darney, Housseras (S de Ramber-villers), Lutzelbourg (S de Phalsbourg) et à des niveaux différents de la formation.

Les résultats étant très voisins les uns des autres, plutôt que d'établir une moyenne, nous avons jugé préférable de citer l'analyse effectuée par voie humide car elle est la plus complète.

Si O ₂	91,19	Ca O	Néant
Al ₂ O ₃	3,75	Na ₂ O	0,20
Fe ₂ O ₃	0,69	K ₂ O	1,30
Fe O	0,53	Ti O ₂	0,16
Mn O	0,02	P ₂ O ₅	0,02
Mg O	0,66	P. F.	1,33

Toujours dû à l'absence des plagioclases, le déficit en Na₂ O et Ca O est évident.

Malgré une coloration normale de l'échantillon, les éléments colorants (Fe₂ O₃, Mn O) sont toujours en très faible proportion.

4. — *L'étude morphoscopique des grains de quartz* conduit aux mêmes conclusions, pour le Conglomérat principal que pour le Grès vosgien.

5. — Analyse granulométrique.

Certains bancs du Conglomérat principal ne contiennent pas de galets et sont gréseux (cf. coupes citées p. 34 à 37); ils fournissent alors des courbes identiques à celles provenant du Grès vosgien (cf. 2^e partie, chap. I, p. 128 et fig. 12 D, courbes 3, 4 et 5).

6. — La stratification.

Elle est identiquement la même dans le Grès vosgien et dans le Conglomérat principal (cf. 2^e partie, chap. IV et tableau XLI, p. 174).

7. — Conclusion à l'étude du ciment du Conglomérat principal.

Dans les coupes précédemment citées, nous avons remarqué que si certains bancs pouvaient être conglomératiques sur toute leur hauteur, d'autres ne l'étaient qu'à leur base, le sommet étant simplement constitué par un grès identique en tous points au Grès vosgien. Or dans un même banc, on passe du ciment des parties conglomératiques au grès des parties non conglomératiques sans solution de continuité et il n'existe entre ces deux parties qu'une très légère différence qui réside dans l'intensité de la teinte brun-rouge. Il n'existe aucune différence marquée entre les parties gréseuses du Conglomérat principal et le Grès vosgien.

Le Conglomérat principal n'est pas autre chose qu'un Grès vosgien chargé en galets.

β) Les galets.

Nous avons groupé l'étude des galets du Conglomérat principal de toutes les Vosges Gréseuses en un chapitre particulier (2^e partie, chap. II). Nous ne rappellerons donc ici que les conclusions essentielles.

1. — Nature des galets.

Elle est simple et peu variée; on distingue en effet :

- des galets de **quartz** blanc filonien;
- des galets de **quartzite** rose dont l'âge dévonien inférieur a été daté par quelques rares fossiles appartenant au groupe des Brachiopodes (E. NOËL, 1885, 1905 (1); E. KRAUS, 1921);
- des galets de **lydienne**, peu abondants, dont l'âge silurien a été précisé par une faune de Graptolites (E. NOËL, 1885, 1904, 1905) (1).

2. — Proportion du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz (cf. 2^e partie, chap. II, p. 144 à 147).

— Cette proportion varie localement avec la taille des galets : il y a beaucoup de quartz et peu de quartzite dans un banc à petits galets; c'est l'inverse dans un banc à gros galets.

— Cette proportion subit une variation régionale régulière : quand on se déplace du NE vers le SW, les quartzites augmentent en nombre par rapport aux quartz.

3. — Dimensions des galets (cf. 2^e partie, chap. II, p. 147 à 149).

Des mesures ont été effectuées; elles ont permis de déterminer la taille maximale et la taille moyenne des galets en de nombreux points et de mettre en évidence des variations dans les dimensions des galets :

- des variations locales et désordonnées ont été constatées d'un banc à l'autre;
- des variations régionales : afin d'éliminer la variable précédente pour rester dans les mêmes conditions d'expérience, nous avons continuellement choisi le banc le plus grossier pour effectuer nos mesures; nous nous sommes alors aperçus que la taille moyenne et la taille maximale des galets augmentait quand on se déplaçait du NE vers le SW (de 18 à 25 mm pour la taille moyenne et de 110 à 140 mm pour la taille maximale).

c) Epaisseur du Conglomérat principal.

Cette épaisseur subit des variations régionales; elle diminue sensiblement quand on passe du versant lorrain au versant alsacien. Afin d'illustrer commodément ce fait, nous tracerons une série de lignes dirigées W-E et sensiblement parallèles entre elles, utilisant pour cela les quelques mesures citées par F. FORCHE (1935) et par L. VAN WERVEKE (1906), et nos mesures (tableau IX).

TABLEAU IX
Epaisseur du Conglomérat principal dans les Vosges Gréseuses septentrionales

Versant lorrain		Versant alsacien
- Bitche (23 m)	- Sturzelbronn (20 m)	- Wissembourg (15 m)
- Frohmühl (20 m)	- La Petite-Pierre (21 m)	- Lembach (15 m)
- Phalsbourg (21 m)		- Bouxwiller (17 m)
- Lutzelbourg (21 m)		- St-Jean-Saverne (14 m)
- Saint-Louis (20 m)	- Garrebourog (20 m)	- Haut-Barr (près Saverne) (13,50 m)
		- N du Brothberg (14,35 m)

3° Conclusions à l'étude du Buntsandstein moyen dans les Vosges gréseuses septentrionales.

a) Le Grès vosgien a une épaisseur de 350 à 380 m.

Depuis le haut jusqu'en bas, le grès qui constitue cette formation est un grès arkosique.

Sa base est très conglomératique (*Conglomérat inférieur*).

Situé immédiatement au-dessus de ce conglomérat, le *Grès vosgien inférieur* présente un faciès caractérisé :

- par la présence de galets plus ou moins disséminés dans la masse d'un grès dur,
- par l'abondance de nodules d'oxyde de manganèse,
- par une stratification dénotant une sédimentation assez violente.

(1) L'historique de la question est exposée dans ces notes, notamment dans celle de 1905.

Le Grès vosgien supérieur présente un faciès caractérisé :

- par la diminution du nombre des galets et des nodules d'oxyde de manganèse,
- par une plus grande tendreté,
- par une stratification dénotant une sédimentation moins violente.

Ces deux faciès peuvent cependant s'entremêler à quelque niveau que ce soit; toutefois le faciès inférieur prédomine dans la moitié inférieure du Grès vosgien tandis que le faciès supérieur l'emporte dans la moitié supérieure de cette formation.

b) Le Conglomérat principal succède au Grès vosgien et la limite entre ces deux formations peut être tracée avec précision, à quelques centimètres, voire quelques millimètres près. Le ciment est en tous points identique au Grès vosgien sous-jacent et les galets présentent d'intéressantes variations dans leur taille en relation avec la compétence des cours d'eau et dans leur nature (quartzite/quartz).

E. — LE BUNTSANDSTEIN MOYEN DES VOSGES GRESEUSES CENTRALES : DE CIREY-SUR-VEZOUSE A SAINT-DIE ET A BRUYERES

Cette région a fait l'objet de quelques études particulières : nous citerons en premier lieu l'ouvrage de H. HOGARD (1837) sur les Vosges, bien qu'il n'apporte guère de précisions sur le « Grès des Vosges ».

Dans sa « *Description des terrains qui constituent le sol du département de Meurthe-et-Moselle* » (1879) et mieux encore, en 1883, dans sa « *Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle* », A. BRACONNIER a très bien étudié et décrit la région couverte par la feuille de Cirey-sur-Vezouse, c'est-à-dire la vallée de la Plaine et toute la région comprise entre cette vallée et celle de la Vezouse : Angomont, Bréménil, Châtillon, Cirey-sur-Vezouse.

En 1925, dans le fascicule *Lothringen des Kriegsschauplätze*, E. KRAUS décrit avec quelque détail la même région, principalement celle située autour de Celles-sur-Plaine, Bionville et Allarmont et jusqu'au Donon. La région de Saint-Dié fut étudiée surtout pour son Permien par G. CHUBERT et G. GARDET (1935) mais quelques lignes fort pertinentes sont consacrées au Grès vosgien.

1° Le Grès vosgien.

Dans toute la région considérée, le Buntsandstein moyen repose sur le Permien qui forme depuis le Palatinat un soubassement sans doute continu et plus ou moins épais, puissant dans les bassins de sédimentation, un peu moins sur les seuils. En effet, celui-ci s'interpose toujours entre le massif hercynien et le Trias et ce n'est qu'au S de la région considérée dans ce paragraphe que le Permien disparaît des seuils et que le Trias inférieur est directement transgressif sur le massif ancien.

On rencontre ce Permien à l'occasion des échancrures des vallées (Plaine, Rabodeau, Meurthe) et il s'étale largement dans le bassin de Saint-Dié et de Bruyères; on le rencontre aussi en sondage à Ménil-Flin et à Mont-sur-Meurthe (M.-et-M.).

La limite précise entre Permien et Grès vosgien est facile à tracer quand on bénéficie d'affleurements frais. Malheureusement, ceux-ci sont très rares, aussi le cartographe est-il obligé le plus souvent de se fonder sur la coloration du sol observée dans les tranchées des chemins creux : le Permien terminal est rouge foncé, la plupart du temps argileux, tandis que le Grès vosgien inférieur est brun-rouge, nettement plus clair. De plus, à la base du Grès vosgien, on peut observer un conglomérat bien caractérisé que l'on rencontre en sondages et en affleurements quand on bénéficie de tranchées.

a) Le Conglomérat inférieur.

Il fut très bien observé par E. KRAUS au cours des opérations de la guerre 1914-1918. Celui-ci bénéficia en effet de nombreuses tranchées creusées sur le versant N de la vallée de la Plaine entre Bionville et Pierre-Percée (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 6). Cet auteur le décrit (1925, p. 8)

sous le nom de *Übergangsschichten* (c'est-à-dire *Couches de transition*), car il hésitait à placer cette formation dans le Permien ou dans le Trias. Ce conglomérat inférieur est parfaitement reconnaissable à travers cette description et nous n'hésitons pas à le mettre en parallèle avec ces *Übergangsschichten*, d'autant qu'à l'occasion de travaux de dégagement de sources nous avons pu observer celui-ci sur l'autre flanc de la vallée, au-dessus d'Allarmont.

Un « *Conglomérat de base* » a été signalé dans le bassin de Saint-Dié par G. CHOUBERT et G. GARDET (1935, p. 339) qui l'avaient observé notamment au-dessus du Col des Raids (feuille de Saint-Dié, quart n° 7).

Dans le bassin de Bruyères enfin, au cours de campagnes de levés géologiques, j'ai pu observer deux fois ce Conglomérat inférieur, et seulement deux fois malgré un quadrillage très serré des itinéraires : une première fois dans une gravière en exploitation et une deuxième fois à l'occasion d'un captage de source (J. PERRIAUX, 1961).

Le site de notre description est la gravière située en bordure de la route de Bruyères à Belmont-sur-Butant (feuille de *Bruyères*, quart n° 3; 1,350 km E de *Bruyères*; $x : 425,9$; $y : 157,1$ (*). Ce conglomérat est peu cohérent : sa matrice sableuse très friable et ses galets bien roulés permettent une exploitation facile.

α) *La matrice* est constituée essentiellement par des grains de quartz auxquels s'ajoutent en assez grande proportion des grains de **feldspaths peu altérés**; nous avons même pu observer quelques très gros cristaux d'orthose (1 cm de longueur) à peine usés dénotant un **apport local qui s'est ajouté à l'apport lointain** (p. 138). L'ensemble renferme 7 à 8 % d'argile.

La taille moyenne des grains est de 0,30 mm et la proportion des grains d'assez grande taille est importante.

Les grains de quartz sont assez bien roulés.

La couleur est généralement **brun-rouge foncé** quand la formation est protégée des circulations phréatiques par une forte couverture protectrice (cas d'affleurements situés à flanc de montagne); mais dans la gravière de Bruyères, située au sommet d'un replat formant plateau, des phénomènes de décoloration pédologiques et phréatiques ont transformé cette coloration en un jaune assez pâle, caractéristique de la limonite.

β) *Les galets* sont assez bien roulés, aussi bien roulés que le sont ceux du Conglomérat principal : les indices d'émoussé, de dissymétrie et d'aplatissement sont, en effet, très semblables dans l'une ou l'autre formation (cf. 2^e partie, chap. II) et indiquent un **mode de transport et de dépôt de type fluvial**. Ces galets sont surtout des *quartzites* dévonien (65 %) et des *quartz* filoniens (20 %) auxquels il convient d'ajouter des *lydiennes* du Silurien (10 %) et des *gneiss* et *granites* (5 %). La composition minéralogique diffère donc de celle du Conglomérat principal par la proportion assez forte de lydiennes et même de roches cristallines ou cristallophylliennes.

Il convient également de noter la présence de *galets d'argile* rouge-amarante, c'est-à-dire de même couleur que celle des lits argileux qui terminent le Permien à son sommet et d'aspect identique.

Taille des galets (longueur).

— Dans le bassin de Bruyères, la longueur des galets s'échelonne entre 140 et 8 mm (au-dessous ce ne sont plus des galets mais de gros grains de quartz) avec une fréquence plus grande pour les galets de 35 mm de longueur. Pour la région d'Allarmont, cette longueur varie entre 120 et 8 mm, avec une fréquence plus grande pour les galets de 30 mm de longueur, ce qui correspond aux observations de KRAUS qui indiquait des galets de la taille d'une noix à celle d'une pomme (sans en préciser cependant la grosseur...).

γ) *Épaisseur* : 8 à 10 mètres en général.

b) *Le Grès vosgien proprement dit* :

Géographiquement, il constitue la suite directe de celui que nous avons décrit dans le paragraphe précédent et qui s'étend plus au N. Il constitue le sous-sol d'un vaste plateau disséqué par quelques vallées principales et de nombreux ruisseaux et recouvert par les forêts domaniales de Saint-Quirin entre Sarre Rouge et Sarre Blanche, de Turkestein entre Sarre Blanche et Vezouse, de Bousson, des Elieux et du Petit Reclos entre Vezouse et Meurthe, du Val de Senones entre Plaine et Rabodeau, enfin de la Chipotte et de Rambervillers au S de la Meurthe.

Nous avons déjà discuté (p. 31 à 33) de l'opportunité d'une séparation en Sm¹ ou Grès vosgien

inférieur et Sm² ou Grès vosgien supérieur. On peut encore l'admettre dans les Vosges septentrionales et c'est ce que nous avons fait; mais dans la région que nous décrivons la difficulté devient vraiment très grande.

D'ailleurs, il est assez symptomatique de constater que les auteurs allemands qui ont étudié le « *Vogesensandstein* » de cette région ont cherché à y retrouver les divisions classiques en Sm¹ et Sm² du Hauptbuntsandstein allemand (E. KRAUS, 1925; F. FORCHE, 1935). Ils y sont arrivés, avec plus ou moins de bonheur il faut bien le dire, et pas toujours de façon concordante, si bien que des divergences importantes apparaissent à la lecture comparée de ces travaux.

Par contre les auteurs français, partis sans idée préconçue, n'ont jamais éprouvé le besoin d'effectuer dans cette région une division quelconque à l'intérieur de ce Grès vosgien.

Résumons-nous :

Il n'y a pas lieu de distinguer dans les Vosges Gréseuses moyennes, un *Grès vosgien supérieur* et un *Grès vosgien inférieur*, puisqu'il est impossible de tracer une limite précise entre les deux et surtout parce que les deux faciès s'interpénètrent depuis le bas jusqu'en haut.

Nous illustrerons ce paragraphe en décrivant la coupe complète du Grès vosgien, telle que j'ai pu l'établir à la suite de mes levés de la feuille de Bruyères; je l'ai retrouvée dans la totalité du Bassin de Saint-Dié et jusque dans la vallée de la Plaine. Une ébauche de cette coupe figure dans la notice de la deuxième édition de la feuille *Epinal* de la carte géologique de la France au 1/80 000; elle fut établie par G. GARDET à la suite de ses campagnes (1935-1937) en vue de la révision de cette feuille.

Coupe du Grès vosgien de la région de Saint-Dié et de Bruyères.

α : Au-dessus du *Conglomérat inférieur* que nous avons décrit, nous observons :

β : une assise, puissante de 5 à 10 m, constituée par un *grès très friable*, feldspathique, à éléments bien roulés et fins (diamètre moyen des grains : 0,2 à 0,3 mm). Ce grès de couleur rose affleure de temps à autre et est exploité localement comme sable à bâtir (*Biffontaine* : feuille de Bruyères, quart n° 4; 0,3 km E de l'église; x : 431,15; y : 157,35 (*).

γ : Au-dessus de cette assise, on peut en observer une autre, constituée par une *série de minces lits* (de 1 à 5 cm d'épaisseur) d'un grès assez *tendre*, légèrement *friable*, rose, feldspathique à grain fin et à stratification le plus souvent horizontale.

Cette assise ne se distingue ni granulométriquement, ni pétrographiquement de la précédente, seul l'aspect *en grand* est différent (*petits bancs réguliers* au lieu d'une masse sableuse unie). Les bancs sont séparés par des lits argilo-gréseux bariolés. La couleur rose fait place à une couleur parfois rouge foncé, parfois jaunâtre et certains bancs sont totalement blancs (*Bruyères* : feuille de Bruyères, quart n° 3; 750 m W de l'église, petite sablière en bordure d'un chemin creux; x : 423,85; y : 157,5 (*)) et *Biffontaine* (feuille de Bruyères, quart n° 4; 250 m E de l'église; x : 431,20; y : 157,35 (*).

Ces trois assises α - β - γ sont assez tendres et se traduisent dans la morphologie par des pentes douces; cependant leur attaque par l'érosion provoque l'éboulement des assises supérieures, ce qui entraîne la formation de chaos et d'éboulis de pente très grossiers.

δ : La « *Haute Masse* » des carrières.

Exploitée comme pierre de construction en de nombreuses et parfois très grandes carrières, la « *Haute Masse* » des carrières peut atteindre une épaisseur de 60 à 80 m (*Bruyères*), de 250 m (*Saint-Dié*), de 120 m (*Senones*) et de 230 à 280 m dans la vallée de la Plaine. Toute la hauteur de cette assise est constituée par des bancs épais (0,50 m à 6 m) de grès dur, feldspathique (tableau VI, p. 31).

La couleur est de rose-jaunâtre à rouge-foncé; parfois, mais assez rarement, de petits lits de quelques centimètres d'épaisseur sont blancs. (*Bruyères*; feuille de Bruyères, quart n° 3; 1,0 km WNW de l'église, carrière en bordure de la route du monument aux morts américain; x : 423,55; y : 157,75 (*).

Composition chimique.

Trois analyses chimiques ont été effectuées par voie humide sur des échantillons provenant de la région de Bruyères; les échantillons 1 et 2 ont été prélevés dans du Grès vosgien classique, brun-rouge; l'échantillon 3 a été prélevé à quelques centimètres au-dessous de l'échantillon 2, dans un lit blanc de Grès vosgien de la carrière de la route du monument aux morts américain.

TABLEAU IX bis
Analyses chimiques dans le Grès vosgien

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3
Si O ₂	92,70	91,55	91,78
Al ₂ O ₃	3,18	3,93	3,84
Fe ₂ O ₃	0,46	0,32	0,20
Fe O	0,36	0,10	0,33
Mn O	néant	traces	traces
Mg O	néant	0,07	0,13
Ca O	0,37	0,28	0,37
Na ₂ O	0,10	0,15	0,15
K ₂ O	1,55	2,05	2,00
Ti O ₂	0,14	0,12	0,10
P ₂ O ₅	0,08	0,04	0,07
P. F.	0,79	0,39	0,38
TOTAL	99,73	99,00	99,35

Nous voyons que le déficit en Ca O et en Na₂O se poursuit, confirmant l'absence des plagioclases constatée par l'analyse microscopique.

Les différences de teneur en Fe₂O₃ entre les grès rouges et le grès blanc sont très ténues; ceci montre bien que la coloration rouge est due à une très faible quantité de cet oxyde de fer.

Le ciment, siliceux et rouge, confère à la masse une très grande dureté.

Les grains de quartz, bien roulés ont une dimension moyenne de 0,2 mm.

Des *galets de quartz et de quartzite* sont assez fréquents, soit groupés en bancs conglomératiques, soit disséminés dans la masse (de quelques unités à une centaine par m² d'affleurement), soit alignés en lits dont chacun détermine la base d'un petit cyclothème; ce dernier cas est général et bien visible à la grande carrière de *Biffontaine* (feuille de Bruyères, quart n° 4; 350 m E de l'église; x : 431,20; y : 157,35 (*) et en de nombreuses autres carrières.

La fréquence des *nodules et des pseudomorphoses d'oxyde de manganèse* est faible sur toute la hauteur.

Entre les bancs de grès, on peut observer la présence de *minces niveaux argileux*, de quelques centimètres seulement d'épaisseur, souvent lenticulaires et qui constituent le *sommet de cyclothèmes locaux*; ces niveaux sont formés par des lits très minces, épais de quelques millimètres seulement : ils attestent d'*anciens dépôts dans de petits bras morts, sièges d'une lente décantation sédimentaire*. Puis une *petite crue interrompait cette sédimentation et provoquait l'arrivée de sédiments plus grossiers* (galets et sables) constituant le point de départ d'un nouveau cyclothème. Ces petites crues entraînaient l'érosion de ces minces bancs argileux et l'arrachement de fragments que l'on retrouve *en galets d'argile* redéposés pratiquement sur place (carrière de *Biffontaine*, etc.).

La stratification est généralement *oblique* ou *entrecroisée*, parfois *horizontale* : oblique, elle l'est principalement dans les bancs épais et massifs (épaisseur de l'ordre du mètre); entrecroisée, dans des bancs plus minces (épaisseur de l'ordre du décimètre). Sur une même verticale, on peut observer les divers types de stratification qui passent de l'un à l'autre (*Bruyères*; feuille de Bruyères, quart n° 3; 1,8 km W de l'église; carrière située en contrebas de la route du monument aux morts américain au « *Haut de Heldraye* »; x : 422,8; y : 157,3 (*).

Par ce qui précède, nous voyons :

- que les niveaux inférieurs β) et γ) présentent un faciès que l'on pourrait comparer au Sm² (pas de galets, stratification horizontale, peu ou pas de nodules d'oxyde de manganèse);
- que le niveau δ) présente un faciès comparable au Sm¹ (présence de galets et de nodules d'oxyde de manganèse, stratification surtout oblique et entrecroisée).

Ceci revient à dire qu'il existe ici une véritable inversion des faciès; ceci prouve aussi qu'il est illusoire de vouloir poursuivre jusque dans les Vosges Gréseuses centrales les faciès décrits dans le Palatinat et encore observables dans les Vosges Gréseuses septentrionales.

2° Le Conglomérat principal.

a) Limite inférieure.

Nous voyons par cet exemple que dans les Vosges Gréseuses moyennes la limite inférieure aussi, pour ne pas alourdir les descriptions et parce que cette carrière a été décrite par A. BRACONNIER (1889, pp. 97-99), allons-nous simplement préciser la limite Conglomérat principal/Grès vosgien de la grande carrière de *Châtillon* qui en fournit un très bel exemple (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 2; 2,8 km NE de *Val-et-Châtillon*; $x : 943,4$; $y : 107,8$).

Coupe de la carrière de Châtillon.

— Conglomérat principal :

- bancs de 3 m à stratification oblique ($43^{\circ}/18^{\circ}$) pouvant se subdiviser en deux parties :
- 1,50 m : conglomérat très chargé en galets passant insensiblement à l'assise sous-jacente;
- 1,50 m : grès ne contenant que quelques galets.

— Grès vosgien :

- 1,00 m : grès assez friable; quelques paillettes de mica; importante proportion d'argile; bancs de 5 à 10 cm d'épaisseur; quelques galets seulement (8 à 10 par m²); stratification horizontale (banc *h* de BRACONNIER);
- 2,00 m : grès dur; stratification entrecroisée (direction moyenne : $40^{\circ}/17^{\circ}$) (banc *e* de BRACONNIER).

Nous voyons par cet exemple que dans les Vosges Gréseuses moyennes la limite inférieure du Conglomérat principal reste semblable à celle observée plus au nord. Nous l'observons d'ailleurs toujours semblable à elle-même dans les Vosges Gréseuses méridionales et en Alsace.

b) Description du Conglomérat principal.

Nous ne répéterons pas ce que nous avons déjà dit à propos du Conglomérat principal des Vosges Gréseuses septentrionales et nous nous contenterons d'indiquer simplement les variations de faciès.

a) Le ciment.

Observée dans la vaste région qui s'étend de Saint-Dié à Rambervillers et Bruyères, une variation dans la dureté du ciment permet de subdiviser le Conglomérat principal en deux parties :

1. — *Une partie inférieure, de 25 à 30 m d'épaisseur environ* : le ciment y est **friable** et il est possible de dégager facilement les galets de la masse; quelques carrières sont d'ailleurs ouvertes à ce niveau et exploitées comme gravières. Parmi de nombreux exemples, nous citerons les carrières suivantes qui sont bien accessibles :

— *Bruyères* (feuille de Bruyères, quart n° 3; 1,8 km WNW de l'église; bordure de la route du Monument aux Morts Américain; $x : 422,8$; $y : 157,8$ (*)).

— *Lépanges* (feuille de Bruyères, quart n° 3; 1,9 km NNW de l'église, non loin de la Haute Verrière; $x : 420,05$; $y : 155,05$ (*)).

— *Biffontaine* (feuille de Bruyères, quart n° 4; 1,1 km NNW de l'église; $x : 431,05$; $y : 158,4$ (*)).

— *Epinal* (feuille de Bruyères, quart n° 1; 4,7 km E de la basilique, en bordure de la route d'Epinal à Cheniménil ($x : 409,4$; $y : 153,25$ (*)).

Ce niveau inférieur à ciment friable détermine dans la topographie un **replat très net**, situé entre les pentes abruptes formées par le Grès vosgien sous-jacent et la partie supérieure du Conglomérat principal.

2. — *Cette partie supérieure* se présente en effet sous l'aspect normal du Conglomérat principal à ciment très dur et forme des **alignements de roches et parfois des falaises en surplomb**.

β) Les galets.

Qualitativement la *nature des galets* est identique à celle des galets du Conglomérat principal des régions septentrionales, mais la proportion du nombre des galets de quartzites par rapport au nombre des galets de quartz a augmenté : les quartzites se font plus nombreuses (cf. tableau XXVIII, p. 147).

La *taille moyenne* a **nettement augmenté** : la longueur moyenne est passée de 25 mm vers Cirey-sur-Vezouse à 35 mm vers Bruyères; il en est de même pour la taille maximale qui est passée de 140 à 185 mm.

c) *Épaisseur du Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses centrales* (tableau X).

Nous rappelons que dans la région de Phalsbourg et de Saverne :

- le Conglomérat principal mesure 20 m d'épaisseur environ (tableau IX, p. 39).
- le Grès vosgien mesure 330 m d'épaisseur environ (tableau VII, p. 33).

TABLEAU X

Épaisseur (en mètres) du Buntsandstein moyen dans les Vosges Gréseuses Centrales.

Localités (du N au S)	Grès vosgien	Conglomérat principal
Région d'Abreschwiller et de Dabo (= Dagsbourg)	300	25/30
Val-et-Châtillon		50
Région de Val-et-Châtillon et région située au nord du Donon	270-280	40/50
Région d'Angomont - Raon/Plaine	230	50
Pierre Percée - Celles/Plaine	170	
Région comprise entre Allarmont (vallée de la Plaine) et Moussey (vallée du Rabodeau) : Tête de Coquin . . .	280	
Région de Raon-l'Etape (La Trouche, Pierre d'Appel) .	200	50 (1)
Senones (La Roche Mère Henri)	150	
Région de Saint-Dié (Montagne d'Ormont)	270	60 (1)
La Houssière, SW de Saint-Dié	100	50 (1)
Biffontaine	70	60 (1)
Bruyères	80	60
(1) Ce chiffre constitue un minimum et non un maximum		

Quelques remarques s'imposent :

1. — *A propos du Donon*, nous aimerions signaler que la partie culminante de ce haut-lieu païen ne se trouve pas dans le Conglomérat principal mais dans la partie médiane du Grès vosgien (ou, si l'on préfère, dans la partie supérieure du Grès vosgien inférieur) et les quelques galets disséminés dans la masse du grès n'ont rien d'anormal à ce niveau.

2. — *L'épaisseur du Buntsandstein moyen diminue rapidement en passant d'une région de bassin (Saint-Dié) à un seuil (Raon-l'Etape).*

3. — En comparant les chiffres du tableau X à ceux que donne F. FORCHE (1935, p. 40), nous nous apercevons que cet auteur indique pour cette région des épaisseurs plus fortes pour le *Sm* (Grès vosgien) que celle que nous avançons et au contraire moins importantes pour le *h* (= Conglomérat principal). Deux raisons, à mon sens, expliquent ces divergences :

— FORCHE place la limite Permien/Buntsandstein à la limite des prairies et des bois, marquée aussi par une rupture de pente; or, si c'est exact dans les Vosges Gréseuses septentrionales, cela ne l'est plus ici où le Permien monte beaucoup plus haut et forme les premières pentes, abruptes souvent, sur 30 à 40 m d'épaisseur.

— FORCHE éprouve de la difficulté à attribuer au Conglomérat principal une épaisseur supérieure à 20 m : je pense que, là encore, venant du N et de l'E, il n'a pas su voir la partie inférieure à ciment friable du Conglomérat principal, masquée par la végétation et les éobulis et il l'a attribuée au *Sm*, réservant l'appellation Hauptkonglomerat aux seules parties supérieures, dures et escarpées.

4. — L. VAN WERVEKE avait déjà signalé (1906) que le Haubuntsandstein (= Grès vosgien) *diminue* d'épaisseur du N au S tandis que le Conglomérat principal *augmente* d'épaisseur dans le même sens (du moins jusque vers Bruyères-Epinal, car, encore plus au S, il diminue à nouveau d'épaisseur). Et VAN WERVEKE d'attribuer ce phénomène à des mouvements tectoniques ayant eu lieu avant le dépôt du Hauptkonglomerat; mais nulle part il n'est possible de mettre en évidence la moindre discordance angulaire entre ces deux formations — et le Conglomérat principal apparaît partout comme un Grès vosgien qui s'est brusquement chargé en galets.

F. — LE BUNTSANDSTEIN MOYEN DES VOSGES GRESEUSES MERIDIONALES :
DE BRUYERES A LURE ET A BELFORT

Jusqu'à présent, le Buntsandstein moyen s'est présenté sous la forme d'une vaste couverture continue, régulière jusque dans ses variations d'épaisseur. Force nous sera maintenant de constater qu'il n'en est plus de même : dans les Vosges Gréseuses méridionales, le Buntsandstein moyen n'est plus représenté que par un manteau discontinu et morcelé dont l'épaisseur varie de façon rapide et souvent irrégulière. Voyons comment :

1° Les variations d'épaisseur du Buntsandstein moyen dans les Vosges Gréseuses méridionales.

A Bruyères, le Grès vosgien est encore complet : le Conglomérat inférieur repose sur le Permien ; mais déjà à Laval (2 km au SW de Bruyères) il repose directement sur le Cristallin. **Au SW et au S de Laval, nous voyons les divers niveaux du Grès vosgien s'appuyer en biseau sur le substratum hercynien** : vers Lépanges, Deycimont et Le Roulier, ce sont les niveaux inférieurs : niveau β (sableux) et niveau γ (grès en petits bancs assez tendres) qui s'appuient directement sur le substratum : le niveau conglomératique inférieur a disparu ; vers Cheniménil et jusqu'à Epinal, c'est le niveau δ (*Haute Masse*) qui est transgressif sur le substratum ; il en est de même pour la plupart des buttes témoins de Grès vosgien situées entre Vologne et Moselotte : buttes de Malanrupt, de Stéomont, de Chicul-Bois, de Bouillemont sur la feuille de Bruyères, de la Croix de la Sabine, de Chèvre-Roche, buttes du Haut-Poirot et du Haut du Roc sur la feuille de Remiremont. Il en est encore ainsi entre Moselotte et Moselle pour les buttes de la Longue Goutte, de la Tête de Houé et du Bois des Meules. Par contre, la butte du Haut-Rapré, située à 4 km SE de Remiremont entre Domartin-les-Remiremont et Vécoux, est constituée par un Grès vosgien complet vers le bas et qui repose sur du Permien, sauf sur sa bordure NE où c'est le Conglomérat inférieur qui repose directement sur le Cristallin. C'est qu'ici nous sommes sur l'extrême bord du bassin Permien du Val d'Ajol : bien que moins épais qu'au N, le Grès vosgien est complet et repose sur le Permien.

Ceci nous montre assez bien comment s'est effectuée la sédimentation au cours du Permo-Trias, à la suite des mouvements orogéniques des phases asturienne et surtout saalienne, et de la puissante glyptogénèse qui s'ensuivit : une abondante lithogénèse provoqua l'accumulation, dans les bassins, de sédiments terrigènes abondants. Puis, lorsque vers la fin du Permien ces bassins furent à peu près comblés, la sédimentation fut plus générale et uniforme et, au Buntsandstein, les sédiments sableux s'étendirent en grandes nappes qui montèrent à l'assaut du massif hercynien dont la surface, pour n'être pas très accidentée, n'était pas non plus rigoureusement plane : les parties basses, déjà occupées par les sédiments permien, furent recouvertes dès le début de l'époque triasique par les sédiments du Grès vosgien : d'abord par le Conglomérat inférieur, puis par les assises tendres (β et γ), et enfin par la *Haute Masse* ; pendant ce temps, les hauteurs ne furent recouvertes que petit à petit et ce n'est guère que vers la fin du Buntsandstein moyen que les Vosges le furent entièrement par les sédiments gréseux.

Tout ceci se traduit par des variations de puissance du Buntsandstein : variations purement locales et désordonnées se combinant à des variations régionales s'ordonnant toutes dans le même sens et faisant apparaître un **amincissement général du Buntsandstein vers le SW** ; quelques exemples vont nous permettre de concrétiser ceci :

a) Exemple de variation locale de puissance du Buntsandstein moyen.

Celui de *Jarménil* est tout à fait typique (feuille de Bruyères, quart n° 6, rive droite de la Moselle ; x : 915,5 ; y : 354,33 ; juste en face du pont sur la Moselle qui relie Pouxieux à Jarménil) ; ici, ce sont les assises supérieures de la *Haute Masse* qui sont transgressives sur le socle gneissique et la coupe suivante est bien visible (partie gauche de la figure 6) :

- Couches intermédiaires inférieures ;
- Conglomérat principal (24 m) ;
- Grès vosgien *Haute Masse* (1 m) ;
- Gneiss.

A 500 m de là au SE, toujours le long de la route de Jarménil à Eloyes, on peut observer la coupe suivante (partie droite de la figure 6) :

- Couches intermédiaires inférieures ;
- Conglomérat principal (48 à 50 m) ;
- Grès vosgien *Haute Masse* (50 m environ) ;
- Gneiss.

N.W.

S.E.

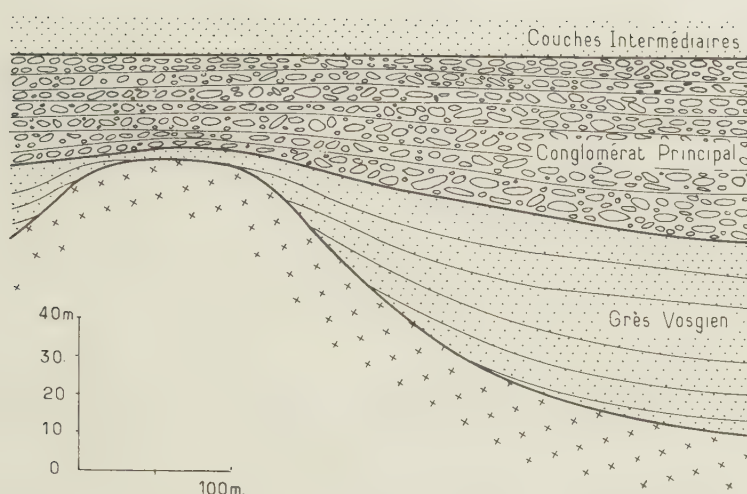


Fig. 6. — Rapide variation locale de puissance à l'approche d'un seuil : Jarménil, coupe le long de la route d'Eloyes.

Sur une distance de 500 m, nous assistons donc à l'ennoyage progressif de cet îlot de gneiss au cours de la transgression du Buntsandstein moyen.

b) Amincissement général du Buntsandstein vers le sud ouest et vers le sud.

Vers le SW, le Buntsandstein moyen affleure peu, masqué par la couverture du Buntsandstein supérieur, mais on peut l'observer à l'occasion des bombements anticlinaux érodés et on le connaît aussi grâce aux sondages et aux puits de mines; nous tracerons donc une série de profils, sensiblement parallèles entre eux, et suivant la direction des anticlinaux qui affectent toute la Lorraine, c'est-à-dire selon la direction varisque SW-NE et nous distinguerons deux cas, séparant ainsi les régions de bassins ou synclinales et les régions de seuils ou anticlinales.

α) Les zones anticlinales.

1. — Profil suivant la crête de l'anticlinal Esley-Relanges-Tignecourt (à quelques km au NW de Darney et de Monthureux-sur-Saône : fig. 7).

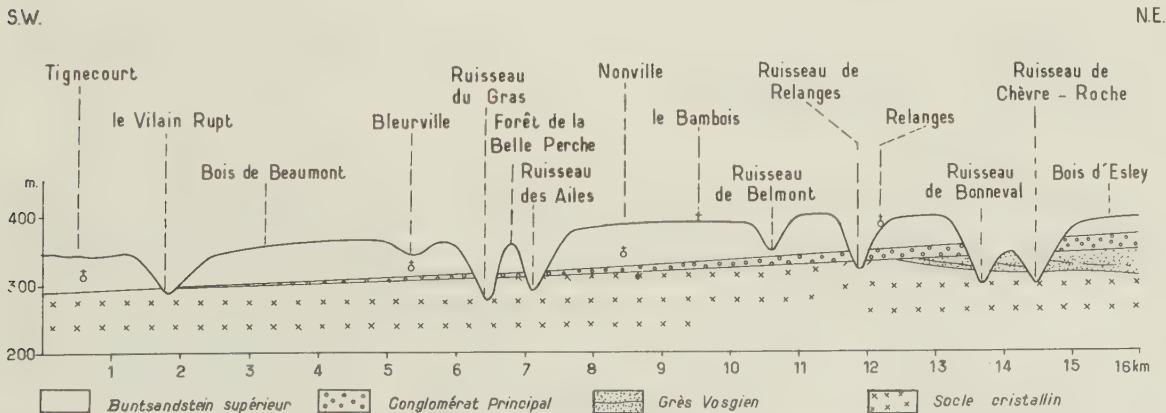


Fig. 7. — Coupe axiale de l'anticlinal Esley - Relanges - Tignecourt.

— Dans le vallon de Bonneval/Saint-Baslemon (feuille de Vittel, quart n° 7) le sommet du granite affleure à 315 m et, au-dessus, on peut observer de bas en haut :

— 25 à 30 m de Grès vosgien,

— 15 à 20 m de Conglomérat principal.

— Dans le vallon de Relanges, le Grès vosgien n'existe plus et c'est le Conglomérat principal, épais d'une dizaine de mètres qui est directement transgressif sur le granite dont la surface affleure vers 330-335 m; ceci est bien visible dans les anciennes carrières de granite situées à la sortie N de Relanges, sur la route de Contrexéville (feuille de Vittel, quart n° 7; 0,5 km W de Relanges; $x : 873,3$; $y : 52,55$).

— Dans le vallon du Gras (entre Viviers-le-Gras et Bleurville), le sommet du granite affleure à 310 m et le Conglomérat principal, directement transgressif sur le socle cristallin, ne mesure que 3,70 m (mesure déjà effectuée par F. FORCHE, 1935, p. 26) et que je confirme exactement (feuille de Vittel, quart n° 7; 2,9 km NNW de Bleurville, grande carrière de granite; $x : 869,4$; $y : 48,9$).

— Enfin, près de Tignecourt, à 4 km au SW du point précédent, F. FORCHE (1935, p. 26) signale que le Conglomérat principal s'achève en biseau et que l'on observe un banc de cornaline, épais de 60 cm sur le granite; tout ceci est exact et visible dans le Ruisseau du Vilain-Rupt.

2. — Profil suivant la crête de l'anticlinal Droiteval - Claudon - Régnéville - Châtillon-sur-Saône.

— A 400 m SE de la maison forestière de Senennes (feuille de Monthureux-sur-Saône, quart n° 4; 2,00 km NE de Claudon; $x : 877,3$; $y : 345,0$), une ancienne carrière de granite offre un front de taille de 25 m de longueur sur 5 m de hauteur; la surface du granite, mollement ondulée, est située à 290 m d'altitude; au-dessus, on observe 1 m seulement de Conglomérat principal surmonté par la Zone-Violette à cornaline, qui présente ici une puissance d'environ 7 m.

— A Châtillon-sur-Saône (feuille de Monthureux-sur-Saône, quart n° 6), le socle cristallin affleure en plusieurs endroits, notamment dans le fond de la vallée de la Saône (cours de la Chaudronnerie située au bas du village, 235 m d'altitude, 150 m NNW de l'église) et dans le fond de la vallée de l'Apance (affleurement de micaschiste de l'Ancien Moulin, 235 m d'altitude, 650 m SW de l'église). Sur ce socle, ce sont les Couches intermédiaires supérieures qui sont venues se déposer en transgression; elles affleurent en divers endroits, notamment :

— en bordure de la Saône à 200 m en amont de la Chaudronnerie (350 m NNW de l'église; $x : 865,2$; $y : 33,9$; altitude 235 m), on peut observer un affleurement de grès jaune-orangé, micacé (larges paillettes de muscovite), à grain moyen, caractéristique du niveau des Couches intermédiaires supérieures, tandis que, 3 m au-dessus environ, existe un bel affleurement de Grès à Voltzia typique;

— sur la rive gauche et en bordure de l'Apance, à l'altitude 240 m et non loin d'un affleurement du socle (1,2 km SW de l'église; $x : 864,3$; $y : 332,9$), affleure un gros rocher de Couches intermédiaires supérieures et, vers 244 m, on peut placer la limite Grès Voltzia/Couches intermédiaires supérieures.

On peut observer encore ces Couches intermédiaires supérieures en plusieurs autres affleurements, notamment le long de la vallée de l'Apance (rive droite à 1,300 km SW de l'église; $x : 864,5$; $y : 332,5$) où se dresse la Roche aux Larrons constituée par le grès des Couches intermédiaires du niveau terminal.

A Châtillon-sur-Saône, ce sont donc les couches intermédiaires tout à fait supérieures (3 à 4 m au-dessus de la base du Grès à Voltzia) qui sont transgressives sur le socle.

3. — Axe Saint-Laurent (boulèue sud d'Epinal) - Fontenoy-le-Château.

— A Epinal nous avons vu qu'au-dessus du granite, l'épaisseur du Buntsandstein moyen est de 100 m, à savoir :

40 m pour le Conglomérat principal,

60 m pour le Grès vosgien.

— A Fontenoy-le-Château, dans la grande carrière de granite exploitée par la T.D.H.M. (feuille de Plombières, quart n° 5-6; 1,4 km SW de l'église; $x : 888,1$; $y : 336,7$), on peut observer de haut en bas :

— Couches intermédiaires inférieures;

— 7,60 m : Zone-Limite-Violette;

— 1 m : Conglomérat principal;

— Granite.

Ici donc, le Conglomérat principal existe encore (contrairement à l'affirmation de F. FORCHE (1935, p. 26) qui signale que ce sont les Couches intermédiaires qui sont transgressives sur le granite) : une coupe fraîche m'a en effet, permis de relever le profil complet que je cite plus loin en détail, à propre de la Zone-Limite-Violette.

4. — Sud du département des Vosges et Nord de la Haute-Saône.

— Dans la région de Plombières-les-Bains, c'est le Conglomérat principal qui est directement transgressif sur le socle et il n'a que quelques mètres d'épaisseur : 7 à 8 m au-dessus de la carrière de granite des Tréfileries du Blanc Murger et au Gueu du Saut (feuille de Plombières, quart n° 4; 5 km de Bellefontaine) et 8 à 10 m à Plombières même (renseignement oral G. JURAIN).

— A Fontaine-les-Luxeuil, en un point déjà cité par G. JURAIN (1956) et que nous avons visité ensemble depuis (tranchée du chemin de fer de Belfort à Aillevillers entre les points kilométriques 103,4 et

103; 1,1 km SSE de Fontaine-les-Luxeuil; x : 899,4; y : 324,05), on peut observer la coupe suivante de haut en bas :

— 0,60 m : arkose lie-de-vin

— 0,60 m : arkose jaune

caractéristiques des *Couches intermédiaires inférieures*.

— 0,80 m : *Conglomérat principal* : poudingue très caractéristique contenant de gros galets de quartz et de quartzite.

— Micaschiste du socle hercynien.

Ici donc, le Buntsandstein moyen est réduit à 0,80 m de Conglomérat principal, ce qui faisait écrire à G. JURAIN qu'« une île semblait donc exister en ce point au début de la transgression de la mer du Trias ». Si l'on excepte le lapsus concernant la mer (elle ne recouvrira cette région qu'à l'orée du Muschelkalk) l'évocation d'une île est très judicieuse : au milieu des vastes nappes de cailloutis qui s'épandaient sur le socle hercynien, pointait un inselberg qui ne fut submergé que vers la fin du Buntsandstein moyen.

Les auteurs ont signalé pour la Haute-Saône une faible puissance totale du Buntsandstein moyen; 12 à 15 m (E. THIRIA, 1833, p. 322) ou 20 m (E. HAUG, *Traité de Géologie*, t. II, p. 868). Dans la région de Baddon, de Faucogney, de Mélisey (feuille de Giromagny, quarts n° 1-2 et 5-6), nous avons pu vérifier ces chiffres : entre 10 et 20 m selon l'épaisseur du Grès vosgien au-dessus du socle hercynien, soit environ 5 à 6 m pour le Conglomérat principal et jusqu'à 15 m pour le Grès vosgien.

En résumé, si tous les points que nous venons de citer présentent un Buntsandstein moyen exceptionnellement mince, c'est parce qu'ils sont situés sur des voûtes anticlinales qui correspondent sensiblement à d'anciens seuils et que la série est considérablement tronquée par le bas.

Mais si nous mesurons l'épaisseur du Buntsandstein moyen dans les anciens bassins de sédimentation, nous nous apercevons alors qu'elle est plus forte que celle observée sur les seuils, tout en restant faible cependant, si on la compare à celle citée à propos du Bassin de Saint-Dié - Bruyères.

β) Les bassins.

1. — Bassin de Vittel-Contrexéville.

A la suite de la campagne de sondages effectuée dans ce bassin (G. MINOUX, 1958), on connaît avec une certaine approximation l'épaisseur totale du Buntsandstein moyen mesuré entre le Permien et le Buntsandstein supérieur; cette épaisseur varie, avec le sondage, de 33 à 57 m et peut se subdiviser de la façon suivante :

— 18 à 20 m pour le Conglomérat principal;

— 15 à 37 m pour le Grès vosgien.

2. — Bassin du Val d'Ajol.

Le Buntsandstein moyen mesure une cinquantaine de mètres d'épaisseur, soit environ 20 m pour le Conglomérat principal et 30 m pour le Grès vosgien qui comporte à la base un Conglomérat inférieur de quelques mètres d'épaisseur.

3. — Bassin de Ronchamp - Giromagny.

Le Buntsandstein moyen mesure une vingtaine de mètres d'épaisseur; F. FORCHE (1935, p. 28), reprenant une publication de MIEG (1897) en a fourni une coupe précise dressée vers Ronchamp et que nous résumons :

— Buntsandstein supérieur :

— 2 m : Argile-Limite

— 20 m : Grès à Voltzia

— 25 m : Couches intermédiaires.

— Buntsandstein moyen :

— 5 à 6 m : Zone-Limite-Violette

— 12 m : Conglomérat principal

— 3 m : Grès vosgien

— 1,50 m : Banc à dolomie et cornaline du sommet du Permien.

A 9 km au S de Ronchamp, à Lomont (feuille de Lure, quart n° 2; 300 m SE de l'église; x : 921,5; y : 299,9), M. le Professeur THEOBALD m'a montré une coupe semblable, dûe aux travaux de captage de la source qui alimente le village (1957) et que l'on peut résumer ainsi :

— Conglomérat principal : 5 m

— Grès vosgien : 6 à 7 m

— Grès argileux du Permien.

Le Grès vosgien repose directement sur le Grès permien, sans intercalation de Conglomérat inférieur; c'est un indice supplémentaire en faveur de la thèse qui attribue au Conglomérat inférieur une origine climatique et lui refuse la qualité de Conglomérat de base ou de transgression;

ici ce Conglomérat inférieur n'existe pas; il y aurait à sa place une lacune de sédimentation; nous allons savoir bientôt pourquoi. En effet, et comme le remarque FORCHE, il arrive que le Grès vosgien lui-même fasse défaut et que le Conglomérat principal repose directement sur le Permien supérieur, comme STRIGEL l'a signalé au forage Pruntrut (1929, p. 215).

Le même phénomène me fut montré par M. THEOBALD à Faymont (feuille de Lure, quart n° 6; 300 m SE de l'église; $x : 320,0$; $y : 298,3$) où on peut établir la coupe suivante le long du chemin du Moulin Manchet :

- Grès à Voltzia :
- 25 m : Couches intermédiaires;
 - 12 à 13 m : Couches intermédiaires supérieures : grès lie-de-vin clair, à grain fin;
 - 0,30 m : Zone-Violette;
 - 12 m : Couches intermédiaires inférieures : grès lie-de-vin plus foncé à grain plus grossier et à petits galets à facettes;
- 3 m : Conglomérat principal caractéristique, à nombreux galets;
- Grès argileux rouge foncé du Permien.

Le Conglomérat principal est donc directement transgressif sur le Permien, et le Grès vosgien fait défaut; sans doute est-ce le résultat de mouvements tectoniques situés entre le Permien et le Conglomérat principal et concrétisés par une discordance signalée depuis longtemps à Ronchamp : le bassin permien de Ronchamp aurait été plus ou moins soulevé et localement ridé pendant le Grès vosgien si bien qu'au sommet des rides, le dépôt du Grès vosgien n'aurait pas eu lieu.

Ce bassin permien de Giromagny se poursuit à l'W sous les formations plus récentes du Buntsandstein et du Muschelkalk : le sondage de Lure (L. GLANGEAUD, G. MINOUX, J. RICOUR, 1957) a traversé sous le Muschelkalk 100 m de Trias inférieur et a atteint le Permien; aucune coupure n'a été tracée à l'intérieur du Buntsandstein, ce qui est dommage; mais à la suite de mes études de surface et pour expliquer cette épaisseur de 100 m du Buntsandstein qui me paraît d'ailleurs un peu forte, je pense pouvoir avancer les chiffres suivants comme acceptables :

- Grès à Voltzia : 20 m
- Couches intermédiaires : 35 à 40 m
- Conglomérat principal : 10 à 15 m
- Grès vosgien : 25 à 30 m.

4. — Région de Belfort.

Dans le Belfortin enfin, le Buntsandstein moyen est encore plus réduit : c'est ainsi que vers le Fort du Mont Rudolphe et le Fort de Roppe, à 3 et 4 km au NE de Belfort, nous avons constaté qu'au-dessus du Permien, il existe une huitaine de mètres seulement de Grès vosgien et 7 à 8 m de Conglomérat principal.

c) Conclusion à l'étude des variations d'épaisseur du Buntsandstein dans les Vosges Gréseuses méridionales.

Dans les Vosges Gréseuses méridionales, le Buntsandstein moyen n'est plus représenté que par un manteau discontinu qui repose tantôt sur le Permien (régions de bassins) et tantôt sur le socle hercynien (région de seuils).

Son épaisseur varie localement de façon rapide et dépendante de la topographie du socle.

A l'échelle régionale, elle diminue aussi de façon régulière du N vers le S et le SW; cet amincissement du Buntsandstein moyen est dû à la disparition des parties inférieures de cette formation et à un amincissement des parties supérieures. A l'extrémité SW des affleurements, vers Châtillon-sur-Saône, cela aboutit à la disparition de tout le Buntsandstein moyen et de la moitié inférieure du Buntsandstein supérieur et ce sont les Couches intermédiaires supérieures qui reposent directement sur le socle.

A l'extrémité S des affleurements, dans les bassins de Ronchamp et de Belfort, la totalité du Buntsandstein moyen ne mesure plus que quinze à vingt mètres au maximum entre le Permien et le Buntsandstein supérieur.

Mais malgré cette réduction d'épaisseur, Grès vosgien et Conglomérat principal conservent les caractères que nous leur connaissons dans les régions plus septentrionales.

2° Le Grès vosgien.

Il est le plus souvent tronqué par le bas, nous le savons, et ce que nous en observons généralement c'est le niveau dit Haute Masse qui se présente sous le même aspect que dans les Vosges Gréseuses moyennes : bancs épais de l'ordre du mètre à stratification essentiellement oblique,

bancs plus minces de l'ordre du décimètre à stratification entrecroisée, dans lesquels il est possible de mettre en évidence de multiples cours d'eau se dirigeant généralement vers l'E. Les galets de 1 à 10 cm de longueur sont fréquents à tous les niveaux et souvent en bon nombre jusqu'à former, en certains bancs, de véritables conglomérats.

Très souvent, les bancs sont séparés par de minces lits argileux et les galets d'argile sont abondants à la base de ces bancs.

L'aspect du grès est le même : couleur brun-rouge à rose-jaunâtre; grains arrondis de 0,2 mm de diamètre moyen; notable proportion de grains de feldspath.

3° Le Conglomérat principal.

a) Limite inférieure.

A notre connaissance, cette limite n'a pas plus été décrite dans cette région que dans les précédentes; aussi croyons-nous bon de continuer sa description afin de voir si elle se poursuit, semblable à elle-même sur tout l'ensemble de la chaîne, ou si, au contraire, elle présente des variations.

— *Jarménil* (feuille de Bruyères, quart n° 6; 0,5 km ESE du pont sur la Moselle; x : 916,02; y : 354,12).

Carrière abandonnée où l'on peut observer les bancs classiques du Grès vosgien, massifs et épais, à stratifications obliques diverses ($100^\circ/10^\circ$, $162^\circ/12^\circ$).

Le sommet du Grès vosgien est marqué par un banc de 0,50 m d'épaisseur constitué par de nombreux et très minces lits de grès fin (diamètre moyen du grain : 0,15 mm) à stratification horizontale et dépôt pelliculaire.

La base du Conglomérat principal épais de 48 m est constitué par un banc de conglomérat extrêmement riche en galets, à stratification oblique ($145^\circ/6^\circ$).

— *Charmois-l'Orgueilleux* (feuille d'Épinal, quart n° 6; 550 m NNW de l'église).

Ancienne sablière de Grès vosgien rouge-rosé; sur toute la hauteur du front de taille, des galets sont disséminés dans la masse et la base des bancs est marquée par de minces lits de petits galets; la stratification est oblique : $20^\circ/19^\circ$, $42^\circ/20^\circ$, $60^\circ/18^\circ$.

Le sommet du Grès vosgien est marqué par un grain plus fin sur une épaisseur de 15 à 20 cm et par une couleur violette.

A sa base, le Conglomérat principal est très chargé en galets; la stratification oblique est identique à celle observée dans le Grès vosgien sous-jacent.

Nota : Le mica est abondant du haut en bas de la coupe, ce qui n'est pas fréquent dans le Buntsandstein moyen.

On notera également que la limite entre Grès vosgien et Conglomérat principal n'est ici marquée par aucun lit argileux, ni par aucune diastème. Il ne semble pas qu'il y ait eu un arrêt, même minime, de la sédimentation, semblable à celui que l'on a pu observer jusqu'ici entre le dépôt du Grès vosgien et celui du Conglomérat principal : la sédimentation semble s'être poursuivie de façon continue.

— *Offemont* (feuille de Belfort, quart n° 1; 1,2 NW de l'église et 300 m SW du Fort du Mont Rudolphe; x : 940,55; y : 306,8).

Dans cette gravière exploitée de façon artisanale, on peut observer la coupe suivante de haut en bas :

— Couches intermédiaires inférieures

— 7,00 m : Conglomérat principal à stratification oblique ($232^\circ/4^\circ$) constitué par :

— 2,00 m : Conglomérat très dur, classique à nombreux et gros galets;

— 1,00 m : Grès brun-rouge constitué par un grand nombre de petits bancs;

— 4,00 m : Conglomérat à ciment assez friable à galets de petite taille;

— 2,50 m : Grès vosgien de couleur blanchâtre; nombreuses taches et mouches d'oxyde de manganèse disséminées dans la masse; grands bancs irréguliers à stratification oblique ($332^\circ/17^\circ$).

La limite entre Grès vosgien et Conglomérat principal est nette et marquée par un diastème qui indique un léger arrêt de la sédimentation (cette ligne indique d'ailleurs le pendage qui est ici très fort : $135^\circ/25^\circ$).

b) Description du Conglomérat principal.

Par rapport au Conglomérat principal des régions septentrionales précédemment décrites, les variations portent sur le ciment et sur les galets.

1. — Les variations du ciment.

Elles sont constituées essentiellement par une silicification extrêmement importante; celle-ci est

dûe à des circulations d'eaux hydro-thermales chargées en silice que G. JURAIN étudie actuellement (Thèse). Ce phénomène est particulièrement important dans toute la région de Plombières, de Bains-les-Bains et du Val d'Ajol; il a pour conséquence :

1) de conférer une extrême dureté à ce conglomérat dont les galets fortement soudés à la gangue gréseuse, sont tranchés au niveau des diaclases de façon parfaite;

2) d'empêcher ou de gêner considérablement toute étude sédimentologique de cette formation.

2. — *Les variations des galets* portent sur leur nature, sur le pourcentage quartzite/quartz et sur la taille.

La nature des galets : il convient de noter la présence, rarissime d'ailleurs, de galets de granite et de gneiss.

Le pourcentage quartzite/quartz est allé vers une augmentation du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz (tableau XXVIII, p. 147); ce caractère s'accroît vers le SW et vers le S.

— *La taille moyenne des galets* augmente vers le SW et vers le S; dans la région considérée elle se situe aux environs de 30 à 40 mm (cf. tableau XXVIII).

— *La taille maximale des galets* a considérablement augmenté : c'est vers Darney que se trouvent les plus gros galets dont la longueur peut atteindre plus de 30 cm (cf. tableau XXVII, p. 143).

4° Conclusion à l'étude du Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses méridionales.

Dans les Vosges Gréseuses méridionales, le Buntsandstein moyen présente dans son épaisseur d'importantes variations locales qu'accompagne un amincissement général vers le SW et le S.

Le Grès vosgien et le Conglomérat principal présentent le même faciès que dans les régions plus nordiques; seules quelques variations apparaissent affectant la dureté du ciment, la nature et la taille des galets du Conglomérat principal.

G. — LE BUNTSANDSTEIN MOYEN DE L'ALSACE MERIDIONALE ET MOYENNE

1° Le Grès vosgien.

Il repose :

— soit sur le Permien (bassin de Villé, Champ de fractures du Linge et des Trois-Epis) et alors il est complet;

— soit directement sur le socle hercynien et, dans ce cas, il est plus ou moins tronqué à sa base suivant l'époque plus ou moins tardive à laquelle s'est effectuée la transgression du Grès vosgien sur ce soubassement ancien.

Nous avons choisi comme type d'étude une coupe effectuée dans le Bassin de Villé, facilitée par l'établissement récent d'une route forestière qui s'élève en lacets sur le flanc S du Jungwald (feuille de Sélestat, quart n° 6 - commune de la Vancelle).

a) Le Conglomérat inférieur.

Au-dessus du Grès permien arkosique (couches de Kohlbächel), à éléments grossiers et anguleux épais ici de 150 m, si bien décrit par G. RENOARD (1936), on peut observer (x : 967,9; y : 77,6; alt. : 540 m) le Conglomérat inférieur bien formé et tout à fait semblable à celui que nous avons décrit dans les Vosges Gréseuses moyennes, tant du point de vue des galets que du grès qui les cimente; il est donc inutile de le décrire ici : sachons simplement qu'il existe et qu'il est épais d'une dizaine de mètres environ. Par ailleurs E. KRAUS (1925, p. 8, note infrapaginale 1) signale cette formation près de Guebwiller et lui assigne une épaisseur de 10 m.

b) Le Grès vosgien proprement dit.

Comme dans les Vosges Gréseuses moyennes, il débute par une assise de **sable jaunâtre** : signalé dans le Champ de fractures du Linge (N. THEOBALD, 1952, f, p. 283), je l'ai retrouvé en plusieurs endroits en Alsace méridionale et moyenne. Il se poursuit par l'assise que nous avons

décrite vers Bruyères et qui est constituée par une série de minces lits de grès tendre légèrement friable, versicolore rose et jaunâtre.

Au-dessus enfin, la *Haute Masse*, tout à fait semblable à celle que l'on observe dans le bassin de Saint-Dié, présente les mêmes caractères que ceux que nous y avons décrits :

- la coloration qui peut passer du rouge au rose et au blanc d'un lit à l'autre;
- les bancs épais de 1 à 6 m, débutant à la base par un lit de petits galets de quartz, se poursuivant par un grès à *granodécroissance* régulière, s'achevant par un très mince lit argileux;
- la présence de gros *galets d'argile* dans la partie inférieure des bancs; tout cela peut s'observer dans la grande carrière située sur le flanc occidental du *Grand Hohnack* (feuille de Gérardmer, quart n° 8; 3,3 km SSW de Labaroche-Eglise).

— La stratification est le plus souvent oblique et ce, tout au long de l'Alsace (carrière précédente, *Grandes Carrières de Voegtlinshoffen* (feuille de Neuf-Brisach, quart n° 1; 0,9 km WNW de Voegtlinshoffen; $x : 967,8$; $y : 347,85$); carrière de *Fréland-le-Kalblin* (feuille de Colmar, quart n° 1, 2,6 km SSW d'Aubure; $x : 962,7$; $y : 64,3$). Parfois la stratification est horizontale et pelliculaire comme dans la carrière de la station de *Heiligenberg*, déjà signalée par F. FORCHE (1935, p. 25) à cause des tâches d'oxyde de manganèse que l'on y rencontre, bien que cette carrière soit placée dans le Sm². Si nous ajoutons qu'on y peut observer des galets disséminés dans la masse et de nombreux grains de feldspaths, on sera, je pense, fixé sur l'instabilité des critères qui ont été évoqués pour distinguer là, comme en Lorraine, un Grès vosgien supérieur (Sm²) et un Grès vosgien inférieur (Sm¹).

Enfin, mais beaucoup plus rarement que sur le versant lorrain, la stratification est entrecroisée, comme par exemple au Vorhof de Kaysersberg où l'on peut observer de nombreux cours d'eau dirigés vers l'E et le SE.

Des *silicifications* importantes et étendues se manifestent, notamment dans le Champ de fractures du Linge (N. THEOBALD, 1952, f, pp. 283-284) et plus au S dans les carrières de Voegtlinshoffen qui en présentent un très bel exemple. Il semble que, tout comme dans la région de Plombières, ce phénomène tire son origine de circulations le long de nombreuses failles d'eaux chargées en silice. Nous terminerons ce paragraphe en signalant qu'à 1,6 km NNE du Col du Bonhomme, sur le flanc oriental du Rossberg, à 1 097 m d'altitude, existe un Grès vosgien tout à fait classique qui se présente sous forme de grands éboulis (1). Cet affleurement atteste bien que toutes les Vosges furent recouvertes jadis par la couverture du Grès vosgien.

2° Le Conglomérat principal ou Poudingue de Sainte-Odile.

a) Limite inférieure.

En Alsace, comme partout ailleurs, cette limite est très nette. Nous avons, à dessein, choisi comme exemple le Mont Sainte-Odile qui constitue la localité-type de ce Poudingue. Ici donc, juste au-dessous du couvent, on peut observer la coupe suivante qui montre le contact du Conglomérat principal et du Grès vosgien :

— Base du Poudingue de Sainte-Odile :

- 1,80 m : Grès à grain fin (0,10 m);
Conglomérat contenant peu de galets (0,20 m);
Conglomérat contenant de nombreux galets; ciment à grain grossier; stratification oblique (90°/10°) (1,50 m);
- 2,20 m : Grès à grain fin (0,10 m);
Conglomérat contenant peu de galets; ciment à grain grossier (0,10 m);
Conglomérat contenant de très nombreux galets; stratification oblique (45°/15°) (2 m).

— Grès vosgien :

- 1,50 m : grès très fin; stratification horizontale, pelliculaire (0,50 m);
grès à grain grossier contenant quelques galets; stratification oblique (1,00 m);
- 1,20 m : grès fin, stratification horizontale (0,40 m);
grès à grain grossier, contenant de nombreux galets passant vers le bas à un véritable poudingue; stratification oblique (10°/10°) (0,80 m);
- 1,80 m : grès fin, stratification horizontale (0,30 m);
grès grossier contenant quelques galets; stratification oblique (90°/15°) (1,50 m);

etc...

(1) Cet affleurement m'a été signalé par J.-P. von Eller que je suis heureux de pouvoir remercier ici.

Cette coupe suggère les remarques suivantes :

— Dans le Grès vosgien comme dans le Conglomérat principal, chaque banc constitue un cycle formé : — à la base, par un grès grossier ou un poudingue, affecté de stratification oblique;

— au sommet, par un grès fin à stratification horizontale caractéristique d'une sédimentation tranquille.

— Entre Conglomérat principal et Grès vosgien, il n'existe qu'une simple différence quantitative dans le nombre des galets que l'on rencontre dans les bancs à la base des cycles : infiniment plus nombreux dans le Conglomérat principal que dans le Grès vosgien. C'est une des raisons qui militent en faveur de l'appartenance du Conglomérat principal au Buntsandstein moyen.

— La limite entre Conglomérat principal et Grès vosgien est cependant très nette, mais c'est une limite de second ordre : elle n'offre pas les caractères primordiaux et généraux présentés par la Zone-Limite-Violette qui coiffe le Conglomérat principal et sépare celui-ci des *Couches Intermédiaires* du Buntsandstein supérieur.

b) Description du Poudingue de Sainte-Odile.

Il a été décrit par tous les auteurs qui ont peu ou prou étudié l'Alsace et comme il est semblable à celui que nous avons déjà décrit dans le reste de la chaîne, il n'est point nécessaire, croyons-nous, de nous étendre beaucoup sur lui. Nous noterons néanmoins quelques variations portant essentiellement :

— sur le ciment qui est par endroit fortement silicifié (Champ de fractures du Linge : Le Grand Hohnack, Le Gras, etc...), ce qui confère à l'ensemble une très grande dureté;

— sur les galets : leur longueur moyenne et le pourcentage quartzite/quartz sont légèrement différents de ce que nous avons vu jusqu'ici (tableau XXVII, p. 147).

H. — LIMITE SUPERIEURE DU BUNTSANDSTEIN MOYEN : LA ZONE - LIMITE - VIOLETTE (Z. L. V.)

Entre le Conglomérat principal et les formations sus-jacentes que nous décrivons plus loin (§ V, p. 65 et suiv.), existe une zone peu épaisse signalée depuis longtemps par les anciens auteurs : L. ELIE DE BEAUMONT (1828, pp. 123 à 126, 1830, 1848, pp. 15 à 17) la décrit sous forme d'une assise épaisse de 2 m environ, constituée de sables argilo-micacés *gris-violacés* et renfermant des lits de rognons de dolomie jaune-pâle à rouge; mais il ne considère cette assise que comme le résultat d'accidents locaux n'ayant pas valeur d'étage géologique déterminé. Portant sur la région comprise entre Forbach et Sarreguemines ses observations suivaient d'ailleurs de peu celles de L. VOLTZ sur l'Alsace.

Lui emboitant le pas, A. DAUBRÉE (1852, pp. 108-109) et E. JACQUOT (1854, pp. 40 et 1868, p. 126) signalent eux aussi ces lits de rognons de dolomie à la base du Grès bigarré, dans le Bas-Rhin et en Moselle. Mais JACQUOT signale en outre que des « *jaspes rouges* » accompagnent la dolomie vers Saint-Avold et vers Hombourg.

R. LEPSIUS (1875, p. 95) décrit près de Mutzig des dolomies et des cargneules situées au-dessus du Hauptkonglomerat et E. BENECKE (1877, p. 560) signale à son tour leur présence entre Saverne et Eckartswiller.

Dans les Erläuterungen des diverses feuilles allemandes d'Alsace-Lorraine, de Sarre et du Palatinat, cette *Couche à dolomie et cornaline* (*Karneoldolomitbank*) est signalée presque partout. F. FORCHE (1935, p. 32) la retrouve dans les Vosges près de Darney, mais déjà en 1883 dans la notice de la Feuille de *Mirecourt* (1^{re} édition), on pouvait lire : « la limite entre le Grès bigarré et le Grès des Vosges est tracée par une couche d'argile rouge ou verte, avec jaspe et rognon de dolomie, qui a été signalée au même niveau dans la Moselle par M. Jacquot ». Toutefois, c'est E. MÜLLER (1952, 1954 a, b) qui le premier en effectua une étude complète dans une région bien délimitée (Sarre); il lui donna le nom de « *Violette-Grenzzone* » qui lui convient parfaitement, et en tout cas beaucoup mieux que celui de « *Karneoldolomitbank* » : MÜLLER démontra en effet que cette zone à dolomie et cornaline des anciens auteurs peut ne comporter par endroits ni cornaline ni dolomie mais que, par contre, elle conserve toujours sa couleur violette caractéristique. A la suite de E. MÜLLER, nous nommerons cette assise « **ZONE-LIMITE-VIOLETTE** ».

1° Extension et faciès de la Z.L.V. dans les Vosges.

a) Palatinat et Lorraine - Alsace septentrionales.

Depuis F. FORCHE (1935, p. 32), qui a résumé les travaux de ses prédécesseurs et ajouté quelques notes personnelles, on sait que cette Z.L.V. existe dans le *Palatinat* au N d'une ligne Oberwürzbach-Zweibrücken - Geiselberg mais qu'elle manque au S de cette ligne, dans tout le Palatinat méridional ainsi qu'en *Lorraine septentrionale et en Alsace du N*. Selon K. STAESCHE (1927) elle a été érodée : cet auteur fournit en effet la coupe générale suivante :

c : Karneolkonglomerat = conglomérat à galets et fragments anguleux de cornaline de la base des Couches intermédiaires.

b : Quelques centimètres de grès très friable.

a : Hauptkonglomerat, sans galets de cornaline.

Et STAESCHE d'en déduire que la zone à cornaline s'est réellement formée puis fut érodée au cours de la transgression des Couches intermédiaires. Pour ma part, je pense plutôt que la Z.L.V. ne s'est jamais formée dans cette région; il convient en effet de ne pas oublier que :

— le synclinal palatin coïncide avec un ancien bassin où la sédimentation fut d'une exceptionnelle intensité.

— En cette région du moins, le Conglomérat principal s'est vraisemblablement déposé sous une tranche d'eau d'épaisseur variable selon qu'il s'agissait d'un seuil ou d'un bassin de sédimentation.

— La Z.L.V. s'est formée, nous le verrons plus loin, au cours d'une période de ralentissement, voire d'arrêt, de la sédimentation au cours de laquelle un sol s'est formé sur la surface exondée du Conglomérat principal récemment déposé.

— Nulle part, dans la région où la Z.L.V. fait défaut, on n'observe de ravinement du sommet du Conglomérat principal par suite de la transgression des Couches intermédiaires.

Nous pensons, quant à nous, pouvoir expliquer l'absence de Z.L.V. dans cette région du synclinal palatin de la façon suivante :

— à la fin de la période marquée par le dépôt du Conglomérat principal, se produit une émergence des régions hautes (seuils) tandis que le centre du synclinal palatin reste immergé (Volmunster, Pirmasens);

— développement d'un sol sur les zones émergées avec formation de dolomie et de cornaline. Au centre du synclinal resté immergé a lieu une sédimentation tranquille et peu importante attestée par les quelques centimètres de grès friable;

— au cours de la transgression qui va donner naissance au grès des Couches intermédiaires, la Z.L.V. située au sommet des seuils est partiellement érodée, fournissant ainsi les galets de cornaline qui se déposent dans le synclinal redevenu bassin de sédimentation. Et sur les bords à nouveau immergés de ce bassin, tant au N (Palatinat septentrional) qu'au S (région de Phalsbourg, Buxwiller, etc.) les Couches intermédiaires surmontent la Z.L.V. précédemment formée et peu ou pas érodée.

b) Vosges Gréseuses moyennes.

La Z.L.V. réapparaît donc vers *Phalsbourg et Buxwiller*, ainsi que plus au S vers *Dabo* (Grand Ballerstein) et jusque vers *Raon-l'Etape* (F. FORCHE, 1935, p. 33) en passant par *Angomont* où, à l'occasion des tranchées creusées au cours de la guerre 1914-1918, E. KRAUS (1925, p. 20 et tableau IV, fig. 4, 5, 6) a pu observer un banc comportant des silicifications au-dessus du Conglomérat principal.

Plus au Sud encore, dans toute la région de *Saint-Dié, Bruyères, Epinal*, la Z.L.V. n'existe pas; ce fait, déjà signalé par F. FORCHE (p. 33) est confirmé par mes recherches; nulle part dans cette région nous n'avons pu observer de zone violette; directement au-dessus du Conglomérat principal on observe le grès des Couches intermédiaires inférieures : grain grossier, larges lamelles de muscovite, couleur jaunâtre clair presque blanche, galets de quartz et non de cornaline.

Pourquoi manque-t-elle ? Ne s'est-elle jamais formée ou au contraire le fut-elle pour être ensuite érodée ? Nous possédons trop peu d'indices pour pouvoir trancher; nous penchons pourtant pour l'hypothèse de la non formation.

c) Vosges Gréseuses méridionales.

Ce n'est que vers *Plombières, Bains-les-Bains et Darney* que la Z.L.V. fait sa réapparition; elle mérite d'être décrite avec quelques détails car, contrairement à ce qui s'est passé pour celle des régions plus septentrionales, elle n'a été étudiée que par un seul auteur (F. FORCHE, 1935) et encore celui-ci ne le fit-il que fort succinctement.

a) La Z.L.V. de la région de Darney.

Nous choisirons comme exemple celle qui est visible dans l'ancienne carrière de granite de la

Maison forestière de Senennes (feuille de Monthureux-sur-Saône, quart n° 4; 2 km NE de Claudon; $x : 877,3$; $y : 345,0$) où nous pouvons observer de haut en bas la coupe suivante :

- Sommet de la coupe : éboulis superficiels et sol.
- 2,00 m : *Banc de brèche dolomitique basal des Couches intermédiaires inférieures à éléments remaniés de cornaline et de dolomie très fine* (diamètre moyen : 0,03 mm);
- 4,40 m : *Zone-Limite-Violette* composée des assises suivantes :
 - 0,50 m : banc sableux brun-rouge; traînées noires d'oxyde de manganèse; diamètre moyen des grains : 0,09 mm;
 - 0,80 m : sable versicolore violet et vert-véronèse (ancien sol à gley ?) et brun-rouge; le passage d'une coloration à l'autre est très diffus et désordonné; diamètre moyen des grains : 0,10 mm;
 - 0,60 m : grès violet au sommet, gris à la base; présence de cornaline;
 - 0,30 m : argile sableuse lie-de-vin;
 - 0,30 m : grès dur gris clair; nodules de dolomie;
 - 0,35 m : argile gréseuse violet foncé;
 - 0,80 m : grès gris-violacé, dur et formant saillie; diamètre moyen des grains : 0,08 mm; présence de cornaline;
 - 0,05 m : argile gris-vert;
 - 0,10 m : grès violet;
 - 0,40 m : grès gris-rougeâtre renfermant des taches et des traînées lie-de-vin foncé.
- 1,00 m : *Conglomérat principal* : galets de 10 à 205 mm de longueur; longueur du galet moyen : 46 mm;
- Granite.

Nous noterons plus spécialement dans cette carrière :

- le passage du Conglomérat principal à la Z.L.V., peu sensible en dehors de la disparition des galets;
- à la base des Couches intermédiaires, la présence d'une brèche composée par des éléments de cornaline et de dolomie remaniés de la Z.L.V.

β La Z.L.V. de la région de Bains-les-Bains.

A la carrière de granite de la T.D.H.M. (feuille de Plombières, quart n° 5; 1,4 km SW de Fontenoy-le-Château; $x : 888,1$; $y : 336,0$), on peut observer la coupe suivante, de haut en bas :

- 3,50 m : *Couches intermédiaires inférieures* qui comportent :
 - 1,50 m : grès jaune; galets de quartz; diamètre moyen des grains : 0,25 mm;
 - 1,00 m : grès violet et jaune, comportant de nombreuses cavités tubulaires contournées, de 1 à 2 cm de diamètre et plusieurs centimètres de profondeur, remplies par du sable coloré en noir par des oxydes de manganèse;
 - 1,00 m : grès jaune, grossier au sommet et fin à la base;
 - **A leur base, les Grès des Couches intermédiaires ravinent les argiles sous-jacentes.**
- 7,60 m : *Zone-Limite-Violette* :
 - 10 à 30 cm : **argile gris-vert ravinée par les grès sus-jacents;**
 - 2,90 m : grès violet et blanc en taches irrégulières; bancs de 40 à 80 cm d'épaisseur; diamètre moyen des grains : 0,13 mm; granulométrie très hétérogène : grès bien classé; ciment silicifié en cornaline;
 - 1,30 m : grès dur, violet en bancs de 10 à 20 cm d'épaisseur; ciment silicifié en cornaline;
 - 0,70 m : grès lie-de-vin, violacé, assez tendre, argileux;
 - 1,00 m : grès massif, violet clair à foncé;
 - 1,00 m : grès lie-de-vin violacé, en deux bancs massifs;
 - 0,50 m : argile violette et lie-de-vin.
- 1,00 m : *Conglomérat principal* ne comportant que quelques galets (partie terminale du Conglomérat principal).
- Granite exploité sur une hauteur de 50 m environ.

L'observation microscopique des grès de cette Z.L.V. montre une granulométrie très hétérogène confirmée par l'analyse granulométrique (cf. p. 128 et fig. 13 A, courbe 8), l'absence de carbonates, confirmée par les analyses chimiques et la **présence de calcédoine et de cornaline** en assez grande proportion; enfin un nourrissage secondaire des grains de quartz existe, mais de façon peu visible.

Nous noterons ici deux points remarquables :

— La Z.L.V. constitue un cycle qui débute par des grès et s'achève par un lit d'argile. Ce cycle repose sur le précédent qui s'achève aussi par un lit argileux : il n'existe qu'une minime différence entre les grès de la Z.L.V. et le Conglomérat principal qui ne renferme que quelques galets épars. Notamment, les courbes granulométriques de l'un et l'autre niveau sont très semblables entre elles.

— Le grès des Couches intermédiaires ravine le sommet du cycle qui constitue la Z.L.V.

Si donc, sur la simple observation de cette carrière, il fallait trancher entre l'appartenance de la Z.L.V. au Bunsandstein moyen (sommet du Conglomérat principal) ou supérieur (base des Couches intermédiaires) on opterait ici sans hésiter pour la première hypothèse.

γ) *La Z.L.V. de la région de Plombières.*

A la *Cascade du Gueu du Saut* (feuille de Plombières, quart n° 4; 5,2 km S de Xertigny; $x : 903,3$; $y : 341,4$) (1) on peut observer la coupe suivante, de haut en bas :

- Couches intermédiaires inférieures : grès lie-de-vin;
- Z.L.V. : 2 à 3 décimètres seulement d'un grès constitué par des cristaux bien arrondis de quartz et de feldspath (observation microscopique) noyés dans de la cornaline qui renferme par endroits de petites géodes de quartz;
- Conglomérat principal très dur, silicifié (p. 51).

La Z.L.V. est ici réduite en épaisseur et ne comporte que la cornaline, à l'exclusion de toute trace de dolomie; elle est très dure, massive, irrégulière d'aspect et constitue le ressaut supérieur de la cascade.

δ) *La Z.L.V. de la région de Luxeuil.*

Sur la route N. 64, entre *Fougerolles et Luxeuil* (feuille de Luxeuil, quart n° 4; 0,550 km WNW de Saint-Valber; $x : 903,15$; $y : 325,1$), une tranchée d'élargissement laisse apparaître la coupe suivante (visitée d'abord en compagnie de M. JURAIN, puis de M. THEOBALD et de M. MÜLLER) :

- Sommet de la coupe : sol légèrement soliflué;
- 0,50 à 1 m : *Zone-Limite-Violette* : grès de couleur violette, jaune, blanche, verte... en mouches et en bariolures, renfermant cornaline et dolomie;
- 2,50 m : *Conglomérat principal* : grès brun-rouge à jaunâtre, grossier, à très gros grains qui atteignent la taille de 5 à 6 mm; à la base, présence d'un lit conglomératique;
- 2 à 3 m : *Zone d'altération de couleur violacée*, jaune ou verte qui forme transition entre le Conglomérat principal et le socle cristallin;
- Socle cristallin.

Non loin de là, sur la route de *Saint-Valber* (feuille de Luxeuil, quart n° 4; 0,6 km NNW de Saint-Valber; $x : 903,4$; $y : 325,5$), M. THEOBALD m'a montré une coupe qui complète la précédente vers le haut :

- Couches intermédiaires inférieures : grès lie-de-vin, caverneux, à galets;
- 1,50 à 2 m : *Zone-Limite-Violette*; elle n'affleure pas à proprement parler, mais entre les Couches intermédiaires inférieures et le Conglomérat principal, il existe une zone à pente douce envahie par la végétation et dans laquelle on trouve des fragments de cornaline;
- 2,50 m : *Conglomérat principal* :
- 2,00 m : Sommet constitué par un grès brun-rouge sans galets, à grain grossier;
- 0,50 m : Conglomérat principal, très typique, à nombreux galets, dur et silicifié.

ε) *La Z.L.V. de la région de Mélisey (NE de Lure).*

Au N de *Mélisey*, entre cette ville et Ecromagny, le long de la D. 73, la Z.L.V. peut être observée en plusieurs affleurements que M. THEOBALD a bien voulu me faire visiter (feuille de Giromagny, quarts nos 1 et 5). On peut tracer la coupe générale suivante :

- Couches intermédiaires inférieures : grès très silicifié, jaune, caverneux, à gros grain et très petits galets; la surface inférieure est noduleuse et chagrinée mais ne comporte pas de brèche dolomitique basale;
- 1,50 m : *Zone-Limite-Violette* : grès versicolore, violet, jaune, vert...; dolomitisation en nodules et intense silicification en cornaline répandues pêle-mêle à travers la masse gréseuse;
- 4 à 5 m : *Conglomérat principal*, très silicifié et dur;
- le sommet est gréseux, ne comportant que très peu de galets;
- la base est conglomératique (2 m environ);
- 10 m : Grès vosgien;
- Schistes du Dévonien.

ζ) *La Z.L.V. au SE de Lure.*

1. — Sur la route D. 124, entre *Lomont et Faymont* (feuille de Lure, quart n° 2; 0,5 km SSW de Lomont; $x : 921,3$; $y : 299,9$), M. THEOBALD m'a montré un très curieux affleurement qui présente de haut en bas la coupe suivante :

- Sol;
- 0,30 m : *Conglomérat principal*, brun-rouge, silicifié, très caractéristique;

(1) Cet affleurement m'a été signalé par G. Jurain que je suis heureux de pouvoir remercier ici de son aimable attention.

- 0,30 m : Succession de bancs de grès irrégulièrement colorés en violet, jaune, vert et qui présentent toutes les caractéristiques de la *Zone-Limite-Violette*;
- 2 m : Conglomérat principal, brun-rouge, silicifié.

Ici donc, il semble qu'on doive admettre la présence d'une Zone-Limite-Violette à l'intérieur même du Conglomérat principal; mais nous allons voir que la coupe suivante apporte un correctif à cette interprétation.

2. — *En bordure du vieux chemin de Mignafans à Sénargent* (feuille de Lure, quart n° 5; 850 m ENE de Sénargent; $x : 916,0$, $y : 293,8$), une minuscule sablière exploite les sables de la Z.L.V., dont on peut tracer, de haut en bas, la coupe suivante :

- 1,00 à 1,50 m : sol rouge-violacé;
- 0,10 m : grès argileux bariolé, jaunâtre et vert;
- 0,15 m : grès argileux *violacé*; dimension moyenne des grains : 0,14 mm;
- 0,15 m : grès argileux blanchâtre, bariolé de jaune et de vert; dimension moyenne des grains : 0,15 mm;
- 0,20 m : grès argileux violacé; dimension moyenne des grains : 0,16 mm;
- 0,55 m : grès brun-rouge conglomératiques;
- 0,10 m : grès argileux violacé;
- 1,50 m : *Conglomérat principal* : grès conglomératique brun-rouge.

La Z.L.V. ne renferme ici ni dolomie, ni cornaline et son épaisseur n'est pas très forte (vraisemblablement 1,50 à 2 m).

Et puis, tout comme à Lomont, il convient de noter la présence d'un lit de Z.L.V. à l'intérieur du Conglomérat principal, vers le sommet de celui-ci; ceci montre assez bien que la limite entre la Z.L.V. et le Conglomérat principal est imprécise puisqu'il existe une interpénétration des deux faciès.

3. — *A la sortie NW de Granges-la-Ville*, sur la route D. 93 (feuille de Lure, quart n° 5; 400 m NW de l'église; $x : 918,2$; $y : 293,9$), des travaux récents (avril 1960) m'ont permis d'observer la coupe suivante :

- *Couches intermédiaires inférieures* : grès jaunâtre, caverneux, à grain moyen;
- 1 m : *Zone-Limite-Violette* : alternance très irrégulière de lits enchevêtrés les uns dans les autres de grès diversement colorés en violet, vert, jaune, brun-rouge, etc.; présence de nodules de dolomie et de blocs de cornaline passant très irrégulièrement des uns aux autres; l'aspect général est très vacuolaire;
- *Conglomérat principal* :
 - le sommet (1 m) est un grès à gros grains très irréguliers et qui ne comporte pas de galets;
 - la base est visible le long de la route, quelques dizaines de mètres plus loin : elle se présente sous la forme d'un conglomérat tout à fait caractéristique, silicifié, très dur, à nombreux galets d'assez petite taille.

η) La Z.L.V. dans la région de Belfort.

Dans la gravière située à 300 m au SW du *Fort du Mont Rudolphe* (feuille de Belfort, quart n° 1; 1,2 km NW d'Offemont; $x : 940,55$; $y : 306,8$), on peut observer une Z.L.V. tout à fait semblable à celle que nous venons de décrire et située non loin de Sénargent; nous avons en effet de haut en bas de la gravière la coupe suivante :

- 1,50 m : *Couches intermédiaires inférieures* : grès brun-rouge à lie-de-vin à cavités remplies d'oxyde de manganèse; petits galets à facettes; forte proportion de mica;
- 1,50 m : *Zone-Limite-Violette* : grès argileux alternativement violet, lie-de-vin ou blanchâtre;
- 7,00 m : *Conglomérat principal* présentant à son sommet une très forte concentration en oxydes de manganèse;
- 2,50 m : Grès vosgien.

θ) Par ailleurs F. FORCHE a décrit près de Ronchamp (1935, p. 28) une Z.L.V. de 5 à 6 m d'épaisseur; cette épaisseur est un peu forte à mon avis, d'autant plus que d'après le contexte FORCHE semble y avoir inclus la base des Couches intermédiaires inférieures.

d) La Z.L.V. en Alsace méridionale.

Nous savons enfin que FORCHE a aussi décrit une Z.L.V. à 9 km au SW de Thann, à Lauw près de Senthem (F. FORCHE, 1935, p. 25).

e) Conclusion à l'étude de l'extension et du faciès de la Z.L.V. dans les Vosges.

La Z.L.V. fait défaut au N de l'Alsace et de la Lorraine septentrionale. Elle réapparaît vers Bouxwiller et Phalsbourg jusque vers Raon-l'Étape, mais vers Saint-Dié, vers Bruyères et vers Epinal elle manque à

nouveau. On la retrouve enfin plus au S, vers Darney et Plombières et elle existe dans tout le S des Vosges et en Alsace méridionale.

La Z.L.V. apparaît au-dessus du Conglomérat principal sans discordance ni lacune ni ravinement et parfois le passage entre l'un et l'autre niveau est très progressif; ceci est particulièrement net à Lomont et à Sénargent.

Quand on a la bonne fortune d'avoir un affleurement qui montre le *contact avec les Couches intermédiaires* sus-jacentes, on y peut observer des ravinements de la Z.L.V. par les premiers bancs des Couches intermédiaires (Fontenoy-le-Château), ou encore la formation de brèches qui indiquent un remaniement local des éléments de la Z.L.V. (Senennes).

Ceci nous amène à poser la question de la place de la Z.L.V.: est-elle au sommet du Conglomérat principal ou à la base des Couches intermédiaires ?

2° Position stratigraphique de la Zone-Limite-Violette.

Jusqu'à E. MÜLLER (1954), tous les auteurs ont placé cette « *couche à cornaline* » ou « *à dolomie* » à la base des Couches intermédiaires : depuis L. ELIE DE BEAUMONT (1828, 1830, 1848) jusqu'à F. FORCHE (1935) en passant par A. DAUBRÉE (1852), E. JACQUOT (1868), E. BENECKE (1877), L. VAN WERVEKE (1906) pour ne citer que les principaux. Mais à dire vrai, ces auteurs ne se sont guère posé de questions : ils ont placé ces couches à dolomie et à cornaline dans les Couches intermédiaires sans fournir d'explication, sans doute parce que cette zone est plus gréseuse que conglomératique et sans doute aussi par analogie avec les autres couches violettes que l'on rencontre dans les Couches intermédiaires.

Cependant E. MÜLLER (1952, 1954 *a* et *b*), a montré que la Z.L.V. appartient au Buntsandstein moyen dont elle constitue le sommet et non au Buntsandstein supérieur; en effet :

— la Z.L.V. surmonte le Conglomérat principal sans limite précise (et ceci est encore plus net en Sarre que dans les Vosges, car le Conglomérat principal y est souvent gréseux ou ne renferme que de petits galets);

— il existe une lacune de sédimentation et parfois des remaniements entre la Z.L.V. et le banc de brèches qui constitue en Sarre la base des Couches intermédiaires inférieures (et nous l'avons également vu à Senennes et à Fontenoy-le-Château);

— la Z.L.V. n'est pas autre chose que du Hauptkonglomerat transformé après son dépôt par des phénomènes secondaires; nous allons le voir dans un instant.

Nous ne pouvons pas ne pas souscrire entièrement à la thèse de MÜLLER puisque nous avons rencontré dans nos régions exactement les mêmes phénomènes que ceux qu'a décrits et interprétés cet auteur avec autant de précision que de perspicacité.

Et en effet, l'apparition de dolomie et de cornaline dans ce matériau de type Buntsandstein moyen laisse à penser que des phénomènes d'ordre géochimique se produisirent postérieurement au dépôt de ces couches : ils entraînèrent, comme nous allons le voir, des modifications de la nature pétrographique des éléments constituant ces matériaux.

3° Caractères pétrographiques et géochimiques de la Zone-Limite-Violette.

a) Caractères décelables à l'affleurement.

1. — La couleur violette est le premier caractère qui frappe l'observateur; principalement dans les niveaux où abonde la dolomie, elle peut évidemment laisser la place à une coloration jaune, verte ou blanche, mais la couleur violette demeure la plus fréquente. Le passage entre ces diverses colorations se fait toujours de façon diffuse et insensible.

Le pourquoi de la teinte violette des roches sédimentaires reste le plus souvent inconnu. D'après les derniers travaux, condensés par N. STRAKHOV (1958, p. 55), cette teinte serait due à un rapport déterminé entre les teneurs en oxydes de fer et de manganèse. D'autre part, il y aurait une relation entre la coloration des roches (violet, vert, rouge...) et le coefficient d'oxydo-réduction

concrétisé par le rapport $\frac{\text{Fe}^{+++}}{\text{Fe}^{++}}$; le travail de G. LIENHARDT (1961) est intéressant à ce point

de vue. Mais cette relation ne serait pas simple et dépendrait de la granulométrie et de l'état de division du sédiment, de sa porosité et de sa faculté d'absorption et d'adsorption. Les oligo-éléments joueraient également leur rôle.

Ce problème complexe de la couleur des sédiments fait actuellement l'objet d'une étude, poursuivie en équipe au **Centre de Recherches pétrographiques et géochimiques de Nancy**; cette étude porte en particulier sur le dosage du fer, du manganèse et du titane et sur la recherche des oligo-éléments disséminés sous forme de traces dans ces sédiments.

2. — *Le litage* est encore net dans les niveaux non modifiés ou peu modifiés par les phénomènes d'épigenisation; en revanche, le litage disparaît plus ou moins totalement quand apparaissent dolomie et cornaline : dans ces bancs en effet, les lits diversement colorés en violet, vert, blanc ou jaunâtre semblent s'interpénétrer les uns les autres : **grès, nodules et filonnets de dolomie, blocs de cornaline** passent insensiblement et irrégulièrement des uns aux autres, aussi bien verticalement qu'horizontalement. Signalons enfin que dans les niveaux gréseux de la Z.L.V., la dolomie et la cornaline apparaissent aussi dans les fentes qu'elles semblent cicatriser.

b) Caractères décelables au microscope.

Dans les niveaux peu marqués par les phénomènes d'épigenisation, la composition minéralogique est très voisine de celle du Conglomérat principal.

Au contraire, dans les niveaux à cornaline et à dolomie, les feldspaths disparaissent, seuls subsistent les quartz, scudés par une « pâte » faite de micrograins anguleux de quartz, eux-mêmes agglomérés par un ciment ferrugineux abondant ou par un ciment calcédonieux micacé.

LA DOLOMIE apparaît d'abord dans le ciment, en respectant les grains de quartz : les fins rhomboèdres envahissent les interstices et finissent par constituer d'importantes masses cimentant ces grains de quartz (pl. VII, fig. D).

Au stade suivant, ceux-ci sont attaqués, burinés, disloqués et plus ou moins complètement digérés par la dolomie : les processus de cette attaque peuvent être reconstitués par l'examen alterné en lumière naturelle et en lumière polarisée : en L.N., les contours des grains de quartz apparaissent encore bien, tandis qu'en L.P. on voit les petits rhomboèdres de dolomie « grignoter » chaque grain de quartz, s'infiltrer dans les fissures de celui-ci et finalement le disloquer en deux ou trois fragments de petite taille que l'on attribue sans peine au même cristal primitif à cause de l'extinction simultanée que présentent ces fragments.

Ces rhomboèdres de dolomie finissent ainsi par constituer des nodules de taille importante et des filonnets irréguliers (pl. VII, fig. D).

Mais cette dolomie est à son tour épigenisée par la silice qui cristallise très finement en calcédoine rosée ou **CORNALINE** : lorsque la silicification est très avancée, on voit dans la masse calcédonieuse quelques rhomboèdres isolés, rares fantômes de la dolomie préexistante (pl. VII, fig. B).

Au stade final des épigenisations, la Z.L.V. n'est plus constituée que par une masse irrégulière et très dure de cornaline.

Signalons enfin que parfois des filonnets de quartz traversent indistinctement tous les éléments précédents.

c) Caractères décelables par l'analyse chimique.

Trente et une analyses ont été effectuées sur des échantillons de Z.L.V. provenant des divers affleurements déjà cités.

La faible importance des échantillons nécessaires à l'analyse quantométrique nous a permis d'effectuer de très petits prélèvements dans les zones silicifiées et dolomitisées et de les analyser.

Nous résumerons ainsi les données de toutes ces analyses :

— les variations dans la composition chimique des sédiments sont très rapides d'un point à un autre d'un même lit, ou d'un lit à l'autre; ces variations sont évidemment liées aux phénomènes de silicification et de dolomitisation :

— dans les niveaux très silicifiés, la teneur en silice peut dépasser 95 % du poids total du sédiment;

— dans les niveaux dolomitisés, Ca O et Mg O prennent de l'importance : plus de 5 % pour Ca O et plus de 4 % pour Mg O.

d) Caractères décelables par l'analyse aux rayons X.

Cette analyse a révélé l'abondance de grains de quartz caractérisés par leur très grande finesse : leur diamètre est en effet inférieur à 2 μ . Or le **quartz microcristallin**, en particules inférieures à 2 μ , est très fréquent dans les sols, très rare dans les sédiments et a, de ce fait, une signification pédogénétique (renseignement oral de M. G. MILLOT).

e) Caractères décelables par l'analyse granulométrique.

L'analyse granulométrique permet de déceler deux groupes parmi les sédiments qui constituent la Z.L.V. (p. 128).

Le premier groupe est illustré par les courbes 2 et 3 de la figure 13 A : dénotant un sédiment bien classé, fluviatile ou lacustre ces courbes unimodales sont tout à fait semblables à celles qui caractérisent les niveaux gréseux du Conglomérat principal, comme par exemple le niveau terminal de cette formation. Ce fait est à classer parmi ceux, nombreux, qui poussent à affirmer l'appartenance de la Z.L.V. au Buntsandstein moyen.

Le deuxième groupe est illustré par les courbes 4 à 8 de la figure 13 A que l'on peut interpréter de la façon suivante :

— l'abondance de la fraction fine (25 à 30 % des sédiments ont un diamètre inférieur à 40 μ), peut s'expliquer par la fragmentation des quartz déjà révélée par l'analyse aux rayons X;

— les éléments qui constituent les fractions *sablon*, *sable fin* et *sable moyen* (diamètre allant de 40 μ à 1,00 mm) sont en égale proportion les uns par rapport aux autres, ce qui se traduit dans les courbes par une partie rectiligne; cette portion rectiligne est d'ailleurs inclinée, ce qui implique un mauvais classement, sans doute dû à la fragmentation sur place du sédiment d'origine;

— les fractions *sable grossier* et *granule* (diamètre de 1 à 5 mm), sont aussi abondantes dans la Z.L.V. que dans la partie terminale du Conglomérat principal.

f) Caractères décelables par l'étude morphoscopique des grains (cf. 2^e partie, chap. II).

A certains niveaux gréseux de la Z.L.V., peu touchés par le phénomène pédologique de fragmentation des quartz, les grains de quartz sont tout à fait semblables à ceux du Conglomérat principal, tant en ce qui concerne la forme que les aspects de surface (indice d'usure : 11,5).

En revanche, à d'autres niveaux très dolomitisés et silicifiés de cette Z.L.V., les grains de quartz sont non usés, anguleux et irréguliers (indice d'usure : 0,75).

g) Conclusion à l'étude pétrographique et géochimique de la Z.L.V.

La Z.L.V. est formée de sédiments de deux sortes; les uns sont peu ou non atteints par les processus pédologiques : ils sont alors semblables à ceux qui constituent le sommet gréseux du Conglomérat principal; les autres sont très atteints par les processus pédologiques et présentent des caractères tout à fait nouveaux qui éclairent le mode de formation de la Z.L.V. et permettent de tirer des conclusions paléogéographiques.

4° Mode de formation et signification paléogéographique de la Zone-Limite-Violette.

a) Résumé des faits précédents.

— Entre le Conglomérat principal et les Couches intermédiaires représentés l'un et l'autre par des sédiments continentaux subaériens ou lacustres, s'intercale la **Zone-Limite-Violette qui fait partie de la formation du Conglomérat principal et non de celle des Couches intermédiaires.**

— Cette zone présente toute une série de caractères décelables à l'affleurement, par l'examen microscopique ou par diverses analyses :

1. — Les caractères décelables à l'affleurement sont :

- la **couleur violette**,
- l'**absence de stratification**,
- la **présence de traînées et de nodules de dolomie** disposés en taches irrégulières;
- la **présence de cornaline** : elle peut ne se développer que faiblement sous forme de petits grains ou de nodules ou au contraire envahir toute la roche préexistante et constituer des blocs durs et anguleux, caverneux et irréguliers.

2. — Les caractères décelables par l'examen microscopique sont :

- l'**absence totale de stratification interne**;
- la **corrosion des quartz et leur épigénisation par de la dolomite** qui :
 - ou bien se présente sous la forme de rhomboédres groupés en amas noduleux ou en filonnets,
 - ou bien constitue une matrice générale;
- l'**attaque de cette dolomite et sa silicification progressive**, partielle ou totale, qui aboutit à la formation de microcristaux de silice que les auteurs ont depuis longtemps reconnue comme de la calcédoine rosée, c'est-à-dire de la **cornaline**.

3. — *Caractères décelables par diverses analyses.*

— L'analyse par les rayons X décèle la **présence de quartz très fin** (diamètre inférieur à $2\ \mu$) souvent abondant; c'est le résultat du phénomène de fragmentation de la silice, dont l'origine peut être recherchée dans une **action pédologique**.

— L'analyse granulométrique :

- par l'abondance (25 %) de la fraction fine, elle traduit l'action **pédologique entrevue précédemment**;
- par l'allure générale des courbes elle montre que les **matériaux de la Z.L.V. peuvent provenir du remaniement de la partie superficielle du Conglomérat principal**.

En définitive, apparaissent trois phénomènes distincts dont nous allons rechercher le pourquoi et le comment, ainsi que la signification paléogéographique; ce sont :

- un phénomène de dolomitisation,
- un phénomène de silicification,
- un phénomène de remaniement et de fragmentation des grains de quartz.

b) Les phénomènes qui ont abouti à la constitution de la Zone-Limite-Violette.

a) Le phénomène de dolomitisation et le problème de la dolomie.

Les dolomitisations que nous avons décrites ne peuvent être comprises que si elles sont replacées dans le cadre du problème général de la dolomie; il est très discuté et de nombreux auteurs ont traité de la genèse de la dolomie. Cependant, des principaux travaux, ceux de E. M. VAN TUYL (1916), L. CAYEUX (1935), R. W. FAIRBRIDGE (1957), N. M. STRAKHOW (1958), THEODOROVITCH in STRAKHOV (1958), IFP (1959), G. BARON (1960), il apparaît possible de dégager une **classification liée à l'environnement sédimentaire des dolomies**, ou, si l'on préfère, à leur milieu de dépôt ainsi qu'à leur genèse.

D'après les travaux récents que nous venons de citer, on peut distinguer **trois catégories de dolomies** :

1. — *Les dolomies syngénétiques ou dolomies primaires* caractérisées par une très grande finesse de rhomboédres de dolomite ($1\text{ à }5\ \mu$) et une stratification interne très fine et nette. Ce sont en général des dolomies de dépôt lagunaires, salins ou pénésalins, et lacustres.

2. — *Les dolomies diagénétiques* (encore appelées dolomies épigénétiques pénécontemporaines, ou dolomies secondaires pénécontemporaines, ou encore dolomies de diagénèse précoce) : ce sont des roches résultant de la dolomitisation par épigénèse plus ou moins précoce du CO_3Ca pendant la consolidation du sédiment carbonaté.

Ces dolomies sont caractérisées par une stratification externe bien conservée en opposition avec une stratification interne confuse; les grains de dolomite sont irréguliers, pigmentés, engrenés les uns dans les autres et leur taille varie de $50\text{ à }1\,500\ \mu$.

Ces dolomies diagénétiques sont généralement reconnues comme caractéristiques des milieux suivants :

- en milieu marin franc, le site néritique et le site récifal;
- la zone intercotidale.

3. — *Les dolomies épigénétiques* (encore appelées dolomies épigénétiques tardives, ou dolomies secondaires tardives, ou encore dolomies de diagénèse tardive ou d'épigénie tardive) : elles comprennent toutes les néoformations de dolomite qui se sont effectuées dans les roches déjà consolidées par diagénèse.

Les dolomitisations de ce type affectent les roches indépendamment de la stratification; elles interviennent de façon désordonnée, se développant par taches et passent d'une strate à l'autre sans continuité; aucune stratification interne ni externe n'apparaît et l'aspect de la roche est vacuolaire.

Les dimensions des rhomboédres sont très irrégulières (de $10\text{ à }1\,500\ \mu$) et la valeur du rapport Ca/Mg (ou Ca O/Mg O) varie très rapidement d'un point à un autre, à l'intérieur d'un même échantillon.

La genèse de cette catégorie de dolomie reste très mystérieuse; elle est possible en n'importe quel milieu : c'est l'environnement sédimentaire, plus que la dolomitisation elle-même, qui fournira des renseignements à ce sujet.

Pour achever cette présentation nous ajouterons que les dolomitisations de ce type s'établissent de préférence sur les fins de séries sédimentaires. (L. CAYEUX, 1935; C. FONDEUR *et al.*, 1952).

C'est à cette dernière catégorie qu'appartiennent les dolomies de la Z.L.V. : l'irrégularité du faciès l'absence de stratification interne ou externe, les processus de la dolomitisation du ciment et des grains de quartz, l'étude de l'environnement (p. 60 et 61), tout ceci le prouve et permet de penser que la dolomitisation de la Z.L.V. s'est effectuée au cours d'une période d'arrêt de la sédimentation, dans un milieu continental (marécageux ou lacustre) qui affecta le sommet de la série sédimentaire, elle-même continentale, du Conglomérat principal.

β) *Le phénomène de silicification.*

Il a fait l'objet de récentes mises au point de la part de G. MILLOT dans deux notes qui résument ses travaux et ceux de ses élèves (G. MILLOT *et al.*, 1959, 1961).

Les phénomènes de silicification qui affectent nos dolomies — épigénisation des rhomboédres de dolomite par de la silice qui se présente sous l'aspect de calcédoine rosée (cornaline) — sont en parfait accord avec les conclusions de G. MILLOT (1961) : « les carbonates préfèrent la silicification en calcédoine » et ce phénomène « s'effectue par remplacement élément par élément ».

D'autre part, H. RADIER (1957) a montré qu'il existe une étroite dépendance entre la mise à l'affleurement et la silicification des calcaires : dans l'Adrar des Iforas (Sud-Saharien), les surfaces structurales calcaires du Danien et de l'Yprésien sont sculptées en lapias et apparaissent fortement silicifiées à l'examen microscopique : « le fond de la roche est constitué par des îlots de calcite résiduelle et par des plages de quartzite en mosaïque à très petits grains ». Or ces calcaires silicifiés n'ont jamais été rencontrés dans les sondages et les puits, où les formations stratigraphiquement équivalentes sont représentées par des calcaires ou des calcaires marneux (G. MILLOT, H. RADIER *et al.*, 1959).

En somme dans la Z.L.V., les silicifications des dolomies constitueraient un témoignage de la mise à l'affleurement du sommet du Conglomérat principal, conséquence d'un arrêt de la sédimentation.

Ces mêmes auteurs ont montré également que ces silicifications superficielles sont soumises aux actions climatiques et pédologiques.

Tout ceci rejoint étrangement la thèse défendue par F. FORCHE en 1935 et par E. MÜLLER en 1954 sur l'origine de la « Violette-Grenzzone ».

γ) *Remaniement et fragmentation des grains de quartz.*

Le remaniement sur place des dernières assises du Conglomérat principal et surtout la fragmentation des quartz qui deviennent très fins (diamètre inférieur à 2 μ) impliquent une action pédologique.

c) *Signification paléogéographique de la Zone-Limite-Violette.*

Plusieurs auteurs se sont déjà penchés sur ce problème; leur thèse peut être résumée ainsi :

— pour F. FORCHE (1935) : à cause de leur gisement dans des sédiments typiquement continentaux, les formations à dolomie et cornaline des grès permien et de la Z.L.V. sont des formations terrestres (la dolomie marine du Zechstein est exclue de cette discussion); se fondant sur la texture des roches, cet auteur estime qu'il y aurait une analogie entre ces formations et les croûtes calcaires des steppes;

— pour E. MÜLLER (1954) la genèse de la Z.L.V. aurait impliqué :

un arrêt de la sédimentation,

des conditions climatiques particulières favorisant le dépôt de dolomie dans un milieu continental (climat semi-aride), puis leur métasomatose en silice (climat aride extrême) (1). A l'appui de cette thèse, il cite les travaux de E. KAISER (1926) : les croûtes calcaires de la surface se forment non pas dans les déserts proprement dits, mais en régions semi-arides. Et pour MÜLLER, le facteur climatique est décisif.

Pour terminer, citons J. WILSER (1914) et E. HILDEBRAND (1929) qui ont, eux aussi, défendu énergiquement cette façon de voir.

5° *Conclusion à l'étude de la Zone-Limite-Violette.*

La Z.L.V. constitue par son faciès un horizon-repère facile à distinguer des couches environnantes; elle réalise un horizon-limite situé entre le Conglomérat principal qu'elle couronne et les Couches intermédiaires transgressives sus-jacentes.

En dehors de quelques rares régions où elle fait défaut, son extension est très générale.

(1) Notre préférence va plutôt vers un climat semi-aride (p. 190).

Du point de vue pratique, son utilité est grande non seulement sur le terrain, mais plus encore en forage car elle permet aux géologues de séparer avec une grande précision le Buntsandstein moyen du Buntsandstein supérieur, méthode déjà utilisée par G. MINOUX (1958) mais de façon timide et non systématique.

Son appartenance au Buntsandstein moyen est solidement établie.

Les matériaux qui la constituent ont subi peu de temps après leur dépôt des transformations secondaires : les quartz ont été corrodés puis épigénisés par des carbonates (calcite puis dolomite), qui à leur tour furent épigénisés par la cornaline. Mais ce n'est qu'au stade final de ces transformations, molécule à molécule, que l'on observe une formation entièrement silicifiée qui mérite le nom de couche à cornaline que lui ont généralement donné les auteurs.

La dolomitisation est de type épigénétique et l'environnement permet de penser qu'elle a affecté, en milieu continental, le sommet d'une série sédimentaire elle-même continentale.

La silicification de cette croûte dolomitique implique une mise à l'affleurement de celle-ci, donc un arrêt de la sédimentation et une action pédologique sous climat chaud; le facteur climatique fut décisif.

La nature argileuse et l'allure moins détritique et moins grossière de nombreux lits de la Z.L.V. implique un ralentissement de la sédimentation à l'époque du Conglomérat principal terminal; le remaniement des matériaux lié à la fragmentation des quartz fins implique une action pédologique.

Conclusion générale :

— Entre le dépôt du Conglomérat principal et celui des Couches intermédiaires, il y eut une longue période d'arrêt de la sédimentation.

— Le sommet du Conglomérat principal subit une mise à l'affleurement, puis une altération en milieu aérien ou subaérien, sous un climat chaud, vraisemblablement semi-aride (3^e partie, chap. I, p. 190).

— La Z.L.V. constitue la fin du cycle sédimentaire du Buntsandstein moyen.

I. — CONCLUSION A L'ETUDE DU BUNTSANDSTEIN MOYEN

Le Buntsandstein moyen se distingue aisément des assises sous-jacentes et sa limite inférieure peut être tracée avec précision.

Quand il repose sur le Permien ou sur le Grès d'Annweiler il est complet (1) et débute par un Conglomérat inférieur dont l'extension est très générale dans toutes les Vosges Gréseuses, aussi bien en Lorraine qu'en Alsace.

Ce Conglomérat disparaît lorsque le Buntsandstein moyen est incomplet vers le bas, par exemple lorsque ce dernier, par son milieu ou son sommet, repose directement sur le socle cristallin : dans ce cas, le Buntsandstein moyen débute toujours par une assise à granulométrie très fine.

Ceci nous amène à penser que ce « Conglomérat de base » n'en est pas véritablement un, au sens où on l'entend généralement, c'est-à-dire un Conglomérat de transgression, car il existerait alors de façon constante à la base du Buntsandstein moyen, même quand celui-ci repose, par son milieu ou son sommet, sur le socle hercynien.

Si ce « Conglomérat de base » n'en est pas un, qu'est-il alors ? Et à quels phénomènes doit-il d'exister ? Tout d'abord il convient de préciser ses origines; l'usure des galets, leur indice d'émoussé, celui des sables qui constituent le ciment, tout milite en faveur d'une origine assez lointaine du matériau; et ceci nous amène à penser que les facteurs climatiques ou autres, qui ont sévi sur la région d'abrasion, ont eu plus d'importance que ceux qui régnaient sur les régions où se sont effectués les dépôts.

Moins important encore que ne le sera plus tard le Conglomérat principal, ce Conglomérat inférieur ne représente, à notre avis, qu'un épisode (puissance totale : 10 m environ) dans l'épaisse série gréseuse que constitue le Buntsandstein moyen. Néanmoins, au-dessus de ce Conglomérat, on rencontre le Grès vosgien si souvent décrit.

Sa division en deux parties, l'une inférieure et l'autre supérieure, fondée sur la présence ou l'absence de galets, de feldspaths, de nodules d'oxyde de manganèse et sur la stratification entrecroisée ou horizontale ne paraît correspondre à la réalité que dans les Vosges Gréseuses septentrionales, c'est-à-dire en Basse-Alsace et en Lorraine du N, et encore à condition d'admettre que les deux faciès

(1) Sauf toutefois à l'extrême S des Vosges Gréseuses où le Conglomérat inférieur fait défaut et où le Grès vosgien et parfois même le Conglomérat principal reposent directement sur le Permien.

puissent s'entremêler à quelque niveau que ce soit; mais au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers le S, ceci devient d'abord moins certain pour devenir ensuite impossible.

Cette puissante masse de grès est constituée par une série de cycles de sédimentation; chacun d'eux débute par un grès grossier, se poursuit par un grès plus fin et s'achève par un mince lit d'argile; celui-ci est érodé par le cycle suivant et remanié sous forme de galets qui se déposent dès le début du cycle suivant.

A son sommet, le Grès vosgien se charge brusquement en galets et se transforme en un poudingue appelé « *Conglomérat principal* ». La limite entre ces deux formations est précise puisqu'elle peut être tracée le plus souvent à quelques centimètres, voire quelques millimètres près: le sommet du Grès vosgien est marqué par la présence de bancs de grès à stratification souvent horizontale que surmonte un très mince lit d'argile, témoignage d'une sédimentation plus calme. Parfois, à la base du premier banc de Conglomérat principal, qui n'est d'ailleurs pas forcément conglomératique mais peut être gréseux, on observe un mince lit de galets d'argile provenant du remaniement de la couche précédente, plus ou moins érodée par le conglomérat transgressif.

Ce Conglomérat principal n'est d'ailleurs pas autre chose qu'un Grès vosgien qui s'est chargé en galets de quartz filoniens, de quartzites d'âge dévonien et de lydiennes du Silurien: en témoignent quelques fossiles, rares mais caractéristiques, découverts et signalés depuis longtemps.

La taille moyenne des galets varie:

- verticalement de façon désordonnée;
- horizontalement, de façon régulière, diminuant lorsqu'on chemine du SW vers le NE et de l'W vers l'E.

La proportion du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz varie elle aussi:

- verticalement de façon désordonnée: elle apparaît en effet étroitement liée à la granulométrie des galets;
- horizontalement, cette proportion diminue lorsqu'on chemine du SW vers le NE et de l'W vers l'E

Le Buntsandstein moyen présente des épaisseurs qui varient régulièrement:

- le Grès vosgien augmente régulièrement d'épaisseur depuis le SW (Darney: 0 m) vers le NE (Wissembourg: 380 à 400 m).

— Le Conglomérat principal augmente d'abord d'épaisseur quand on chemine dans le même sens que précédemment, c'est-à-dire du SW vers le NE, dans la région où il est directement transgressif sur le socle hercynien (Châtillon-sur-Saône: 0 m; Epinal, Bruyères, Saint-Dié: 50 à 60 m); puis il diminue ensuite d'épaisseur pour n'atteindre que 20 m vers Phalsbourg et 14 à 15 m au delà.

L. VAN WERVEKE avait déjà observé ces variations d'épaisseur qui s'effectuent en sens inverse l'une de l'autre pour le Grès vosgien et pour le Conglomérat principal; il l'attribuait à des mouvements tectoniques qu'il plaçait entre le dépôt du Grès vosgien et celui du Conglomérat principal; nous savons ce qu'il convient d'en penser: nulle part il n'est possible de mettre en évidence la moindre discordance angulaire entre ces deux formations. Le *Conglomérat principal* apparaît, nous ne le répéterons jamais trop, comme un Grès vosgien qui s'est brusquement chargé en galets et la limite entre celui-ci et le Grès vosgien, bien que nette, n'est qu'une limite de second ordre: elle n'offre pas en effet les caractères primordiaux et généraux présentés par la *Zone-Limite-Violette*, véritable zone d'altération superficielle, « *sol* » fossile au sens large (?), témoin de la fin du cycle sédimentaire du Buntsandstein moyen, coiffe du Conglomérat principal qu'elle sépare du Buntsandstein supérieur que nous allons maintenant étudier.

V. — LE BUNTSANDSTEIN SUPERIEUR

A. — SYNONYMIE ET SUBDIVISIONS

(Tableau II, p. 16, et XI, p. 66).

Le Buntsandstein supérieur est l'équivalent du « *OBENER BUNTSANDSTEIN* » des auteurs allemands (= So des cartes géologiques allemandes au 1/25 000).

Il est aussi l'équivalent du « *GRÈS BIGARRÉ* » employé dans son sens strict (L. ELIE DE BEAUMONT, 1827-28).

Il est enfin l'équivalent du « **VASLENIEN** » de G. DUBOIS (1948).

Les auteurs allemands et quelques rares auteurs français subdivisent le Buntsandstein supérieur en deux parties :

— à la base, les **COUCHES INTERMÉDIAIRES** (= **ZWISCHENSCHICHTEN**).

— au sommet, le **GRÈS A VOLTZIA** (= **VOLTZIENSANDSTEIN**).

Ces divisions présentent le triple avantage d'être classiques, commodés et sans ambiguïté : nous les conserverons donc.

A quelques détails près, que nous évoquerons chemin faisant, le faciès de chacune des diverses subdivisions du Buntsandstein supérieur conserve les mêmes caractères sur toute l'étendue des Vosges Gréseuses; nous ne serons donc plus amené, comme nous l'avions été à propos du Buntsandstein moyen, à scinder notre domaine en trois régions : c'est d'un seul trait que nous étudierons ce Buntsandstein supérieur, en décrivant successivement ses diverses subdivisions.

TABLEAU XI
Les subdivisions du Buntsandstein supérieur

Terminologie allemande		Terminologie française proposée		Anciens auteurs français
MUSCHELSANDSTEIN (E. WEISS, 1869)		GRES COQUILLIER (A. de LAPPARENT, 1883)		(L. ELIE de BEAUMONT, 1827 <u>et al.</u>)
VOLTZIENSANDSTEIN (E. WEISS, 1864)	Grenzletten (E. WEISS, 1869) (LETTENREGION) (K. STAESCHE, 1927)	GRES à VOLTZIA (A. de LAPPARENT, 1883)	Argile-Limite (N. THEOBALD, 1951) GRES ARGILEUX (J. PERRIAUX)	GRES BIGARRE SUPERIEUR (= 2e Stage de H. HOGARD, 1837)
	WERKSTEINZONE (K. STAESCHE, 1927) Dolomitbröckelbank (E. SCHUMACHER, 1891)		GRES à MEULES (J. PERRIAUX) Horizon à plantes de base	(= Grès coquillier de A. LIETARD, 1888)
	OBERE ZWISCHENSCHICHTEN	COUCHES INTERMÉDIAIRES (A. de LAPPARENT, 1900)	Banc de brèche dolomitique supérieur (J. PERRIAUX) COUCHES INTERMÉDIAIRES SUPÉRIEURES	GRES BIGARRE INFÉRIEUR (= 1er Stage de H. HOGARD)
ZWISCHENSCHICHTEN (E. BENECKE, 1877)	Obere Dolomitbröckelzone (E. MÜLLER, 1954) UNTERE ZWISCHENSCHICHTEN Basale Dolomitbröckelbank (E. MÜLLER, 1954)		Zone-Violette Supérieure (J. PERRIAUX) COUCHES INTERMÉDIAIRES INFÉRIEURES Banc de brèche dolomitique basal (J. PERRIAUX)	(= Grès à Plantes de A. LIETARD)

B. — LES COUCHES INTERMÉDIAIRES

A. DAUBRÉE fut le premier à signaler qu'intermédiaire par leur position entre Grès vosgien et Grès bigarré (à l'instar d'ELIE DE BEAUMONT il entendait par là notre Grès à Voltzia), existent d'autres grès qui présentent certains traits caractéristiques, les uns du Grès vosgien et d'autres du Grès bigarré; pour cette raison il les nomme « *couches ambiguës* » ou encore « *grès intermédiaire* » (A. DAUBRÉE, 1852, p. 107-108).

R. LEPSIUS (1875, p. 95 à 97), tout comme DAUBRÉE, discute abondamment de ces couches qui séparent Grès vosgien et Grès bigarré; il les appelle « *Übergangschichten* » et en fait le sous-étage du « *Unterer Voltzien-Sandstein* » mais c'est E. BENECKE (1877, p. 557-558) qui le premier leur donna le nom de « **ZWISCHENSCHICHTEN** », que A. DE LAPPARENT (1900) a traduit par « **COUCHES INTERMÉDIAIRES** ».

En souvenir du Buntsandstein moyen, ces couches ont conservé, tout au moins dans leur partie inférieure, la présence de galets et une certaine grossièreté du grain.

Cependant, les caractères du Grès à Voltzia sont annoncés par la teneur en mica et en feldspath et, tout au moins dans la partie supérieure, par la finesse du grain.

Dès l'abord, nous voyons ainsi se dessiner deux parties à l'intérieur de ces Couches intermédiaires : une inférieure et une supérieure dont la frontière est marquée par la présence d'une *Zone-Violette* (tableau XI).

De plus, à la base et au sommet de cet ensemble, apparaît souvent un **Banc de brèche dolomitique**; dans cette formation des COUCHES INTERMÉDIAIRES, il est donc possible de distinguer un certain nombre de subdivisions qui sont de bas en haut :

- le Banc de brèche dolomitique basal,
- les Couches intermédiaires inférieures,
- la Zone-Violette-Supérieure,
- les Couches intermédiaires supérieures,
- le Banc de brèche dolomitique supérieur.

1° Le Banc de brèche dolomitique basal.

Il fut décrit pour la première fois sous le nom de « *Basale Dolomitbröckelbank* », par E. MÜLLER (1954) dans son très beau travail sur le Buntsandstein de la Sarre. Ainsi que l'a montré cet auteur, ce banc existe presque partout dans le domaine sarrois, immédiatement au-dessus de la Zone-Limite-Violette dont il forme le toit; il représente, à la base des Couches intermédiaires, un horizon-repère constitué par un matériel remanié de l'assise sous-jacente.

En Lorraine et en Alsace, son extension n'est pas générale : c'est ainsi que je n'ai jamais pu l'observer dans la région de Saint-Dié, de Bruyères et d'Epinal, là précisément où nous avons vu que la Z.L.V. semblait ne pas exister.

Plus au S, ce banc réapparaît, mais de façon irrégulière; deux exemples illustreront ce fait : *Premier exemple :*

Ancienne carrière de granite de la *Maison forestière de Senennes* dont la coupe a été décrite page 56 : sur une épaisseur d'environ deux mètres et immédiatement au-dessus de la Z.L.V., on peut observer le banc de brèche dolomitique basal : composé d'éléments durs, anguleux et soudés les uns aux autres de façon fort irrégulière, il présente un ensemble d'une grande dureté. Tout dans cette roche donne l'impression d'un matériau fortement remanié puis consolidé.

L'examen microscopique de ces éléments montre la même série de **belles épigénisations** que celles observées dans la Z.L.V. sous-jacente : attaque du quartz détritique et épigénisation de celui-ci par des carbonates (dolomie); remplacement de cette dolomie par de la cornaline qui se présente en plus ou moins grandes plages, à l'intérieur desquelles persistent çà et là des restes non digérés de dolomie.

Deuxième exemple :

Carrière de granite de la T.D.H.M. à *Fontenoy-le-Château* dont la coupe est décrite page 56 : au-dessus de la Z.L.V. dont le sommet est marqué par un lit d'argile gris-vert, les Couches intermédiaires débutent immédiatement par un grès qui ravine légèrement ce lit d'argile, mais nulle part n'apparaît de brèche : ici donc, le Banc de brèche dolomitique basal n'existe pas.

Ainsi donc ce banc peut faire défaut; mais lorsqu'il existe, il marque, par son caractère bréchique, une période de reprise de la sédimentation. C'est ce qui le fait placer à la base des Couches intermédiaires.

2° Les Couches intermédiaires inférieures.

Elles constituent un niveau de grès dont les caractères sont très particuliers :

a) *L'aspect « en grand »* est sensiblement le même que celui du Grès vosgien.

b) *La couleur* : très généralement lie-de-vin foncé, mais souvent aussi brun-rouge et plus rarement jaunâtre, elle apparaît comme une teinture des grains de quartz :

— *lie-de-vin foncé ou brun-rouge* : c'est ainsi dans le N et le centre des Vosges Gréseuses, vers Pirmasens (Palatinat), Bitche, la Petite Pierre, Lutzelbourg, Val-et-Châtillon, Baccarat et en Alsace.

— mais à partir du Col de la Chipotte, la couleur s'éclaircit : elle est souvent *lie-de-vin clair* ou *brun-rouge clair* comme dans la région de Darney, de Belfort, etc., mais parfois *jaunâtre* comme dans la région de Bruyères, d'Epinal, de Bains-les-Bains, de Luxeuil, de Belfort... Cette coloration jaune, assez exceptionnelle cependant, correspondrait, selon les travaux allemands, à un ancien seuil.

Quelle que soit leur couleur, *ces grès sont tachetés de noir* par des oxydes de manganèse qui se présentent sous la forme de nombreux nodules et de mouches (parfois jusqu'à 50 sur une surface équivalent à un carré de 10 × 10 cm) donnant à ce niveau une allure tout à fait caractéristique.

Ces nodules d'oxyde de manganèse peuvent se vider et les grès acquièrent alors une allure caverneuse que l'on n'observe à aucun autre niveau. Il convient d'ailleurs de ne pas la confondre avec la structure alvéolaire décrite et figurée par E. HAUG (*Traité*, t. I, p. 378 et pl. XXXVIII, et t. II, p. 868) et qui peuvent affecter les grès à tous les niveaux géologiques (pl. III, fig. B).

c) *Analyse granulométrique.*

Elle révèle une grosseur des grains semblable à celle des grès du Buntsandstein moyen :
— le diamètre moyen des grains varie entre 0,18 et 0,40 mm avec une fréquence plus grande vers 0,24 mm;
— le mode oscille entre 0,24 et 0,60 mm avec une plus grande fréquence vers 0,26 mm.

d) *Composition minéralogique.*

— A l'œil nu ces grès apparaissent comme étant constitués :
— par d'abondants cristaux de quartz teintés superficiellement en lie-de-vin, en brun-rouge ou en jaune;
— par de nombreux grains de feldspath qui tranchent par leur blancheur sur le restant coloré de la roche;
— par quelques très larges paillettes de muscovite qui miroitent au soleil.
— Au microscope : les grains ne sont soudés entre eux que par très peu de ciment et il existe en général peu de nourrissage secondaire.

Des séries de comptages pétrographiques effectués sur quelques lames minces prélevées en divers lieux permettent de préciser la composition minéralogique (tableau XII).

TABLEAU XII
Composition minéralogique des grès des Couches intermédiaires inférieures.

Localités	Quartz en %	Feldspath en %	Mica en %
Saint-Louis-les-Bitche	76,0	23,7	0,3
Soucht (entre Bitche et La Petite Pierre)	78,5	21,4	0,1
Claudon (E de Monthureux-sur-Saône)	73,0	19,0	8,0

On pourra s'étonner de la très faible proportion de micas qui semble en désaccord avec le résultat de l'examen à l'œil nu : en réalité, les lamelles de muscovite sont larges mais peu nombreuses et la proportion observée en lames minces est correcte. Les feldspaths sont représentés par l'orthose; les plagioclases sont rarissimes.

e) *Composition chimique.*

Douze analyses chimiques ont été effectuées dans les Couches intermédiaires inférieures; une a été réalisée par voie humide et onze au moyen du quantomètre; les échantillons ont été prélevés de Plombières à Buxwiller.

Les résultats sont remarquablement proches les uns des autres et aucune variation notable n'a pu être constatée : les grès des Couches intermédiaires inférieures présentent une remarquable cohésion sur toute l'étendue des Vosges. A titre d'exemple, nous citons l'analyse effectuée par voie humide sur un échantillon prélevé à Val-et-Châtillon (région de Cirey-sur-Vezouse) :

Si O ₂	88,31 %	Ca O	0,19 %
Al ₂ O ₃	5,38 %	Na ₂ O	0,20 %
Fe ₂ O ₃	0,97 %	K ₂ O	2,85 %
Fe O	0,31 %	Ti O ₂	0,23 %
Mn O	0,11 %	P ₂ O ₅	0,06 %
Mg O	0,32 %	P. F.	0,95 %

Les conclusions sont toujours les mêmes : faible teneur en chaux, en soude et en éléments colorants, malgré l'intense coloration lie-de-vin foncé de l'échantillon.

f) *Les galets.*

Outre les éléments précédents, ces grès renferment des galets disséminés dans la masse.

1. — *Leur nombre* : Dans le Palatinat, ils sont si abondants qu'ils constituent un véritable conglomérat (*Karneolkonglomerat*), parfois difficile à distinguer du *Hauptkonglomerat* sous-jacent.

Mais en Lorraine et en Alsace, les deux formations ne se confondent pas : il saute aux yeux que les bancs du Conglomérat principal comportent de très nombreux galets de toutes tailles (plusieurs centaines par mètre carré d'affleurement) tandis que l'on n'en peut compter guère plus de dix, tous de petite taille, sur une même surface dans les Couches intermédiaires inférieures. Dans ces conditions, en aucune façon et nulle part dans notre région, on ne peut parler d'un véritable conglomérat.

Cependant, en plus ou moins grande abondance, ces galets existent toujours et partout dans les Couches intermédiaires inférieures : il n'est donc pas exact de dire que dans la région d'Epinal, de Remiremont, de Plombières, ils n'existent pas (F. FORCHE, 1935) car je les y ai retrouvés, nettement plus petits et infiniment moins fréquents qu'ailleurs et associés à des grès de couleur jaunâtre ou blanchâtre; cette rareté et cette faible taille constituent un argument supplémentaire en faveur de la présence d'un ancien seuil dans cette région d'Epinal, de Remiremont et de Plombières.

2. — *Nature des galets* : On ne rencontre que des galets de quartz et de quartzite; une dizaine de comptages pétrographiques nous permet de préciser le pourcentage de chacun de ces deux constituants :

- quartz = 94 à 99 %;
- quartzite = 1 à 6 %.

Nous commentons suffisamment par ailleurs les valeurs de ce pourcentage dans le Conglomérat principal pour être autorisé à souligner l'importante différence qui existe entre les deux formations (cf. tableau XXVIII, p. 147).

3. — *Dimensions des galets* :

— *elles sont faibles* : dans tous les lots étudiés, la longueur du galet moyen oscille autour de 20 mm quel que soit le lieu de l'échantillonnage. Cette faible taille semble liée à l'enrichissement en galets de quartz (cette liaison de la nature et de la taille des galets apparaît déjà dans le Conglomérat principal (cf. tableau XXVIII, p. 147).

— *elles revêtent une certaine uniformité* : la plupart des galets d'un même lot sont de petite taille et le plus gros n'est pas très différent du plus petit;

— *elles ne varient pratiquement pas* lorsqu'on se déplace du SW vers le NE des Vosges Gréseuses.

Ces caractères sont résumés dans le tableau XIII sous forme de données numériques; afin de pouvoir établir des comparaisons valables entre Conglomérat principal et Couches intermédiaires, nous avons chaque fois couplé les données des galets des Couches intermédiaires, avec celles d'un lot de galets du Conglomérat prélevé dans le même secteur.

Nous nous sommes limité à quatre exemples, mais ils suffisent amplement; ils sont échelonnés du SW au NE des Vosges Gréseuses :

— le premier exemple est choisi vers l'extrémité SW des affleurements, à *Claudon* (feuille de Montheureux-sur-Saône, quart n° 4; *Maison forestière de Sennenes*);

— le deuxième exemple provient de la région située entre Epinal et Darney : *Charmois-l'Orqueilleux* (feuille d'Epinal, quart n° 6);

— le troisième exemple est choisi vers le milieu des Vosges Gréseuses, à *Val-et-Châtillon* (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 2);

— Enfin pour le quatrième exemple, nous nous déplaçons jusqu'en Lorraine septentrionale : à *Hottviller* (feuille de Bitche, quart n° 2; 1,05 km W de l'église; petite carrière située à la croisée de la D 85 et de la D 85 A) pour les Couches intermédiaires, et à *Liederschiedt* (feuille de Bitche, quart n° 4) pour le Conglomérat principal.

Pour chaque échantillon prélevé (1) dans les Couches intermédiaires (C.I.) ou le Conglomérat principal (C.P.), nous citons les mesures suivantes : longueur (L), largeur (l), épaisseur (E) et dimension

moyenne $\frac{(L + l + E)}{3}$ mesurées en millimètres, poids (P) mesuré en grammes, du plus gros galet (1), du galet moyen (2) et du plus petit galet (3).

Nous voyons que Couches intermédiaires inférieures et Conglomérat principal sont deux formations bien différentes l'une de l'autre et qu'il n'est pas possible d'arguer de leur ressemblance pour les rapprocher et les placer l'une et l'autre dans le Buntsandstein supérieur (p. 148).

(1) La méthode d'étude est décrite en détail dans la 2^e partie (chap. II, p. 139 et suiv.).

TABLEAU XIII

Mesures comparées des galets des Couches intermédiaires et du Conglomérat principal.
(explication de ce tableau p. 69)

		L	l	E	$\frac{L + l + E}{3}$	P
Claudon (CI)	1	56	38	36	43,3	78
	2	23	21	17	20,3	11
	3	14	8	5	9	1 (env.)
Claudon (CP)	1	205	150	125	160	5 300
	2	46	30	23	33	35
	3	10	8	6	8	1 (env.)
Charmois (CI)	1	33	22	20	25	16
	2	20	15	10	15	3
	3	11	9	7	9	1,5 (env.)
Charmois (CP)	1	310	155	110	192	7 800
	2	40	30	23	31	27
	3	9	8	7	8	1 (env.)
Val-et-Châtillon (CI)	1	48	32	25	35	41
	2	22	20	15	19	10
	3	12	8	5	8	1 (env.)
Châtillon (CP)	1	175	85	85	115	1 800
	2	28	22	10	20	8
	3	8	6	5	6,3	1 (env.)
Hottviller (CI)	1	42	27	20	29,6	21
	2	20	18	10	16	6
	3	14	10	8	10,6	2
Liéderschied (CP)	1	135	70	50	85	705
	2	16	15	10	13	3
	3	11	9	7	9	1,5

4. — Morphoscopie des galets.

Tout comme pour le Conglomérat principal et par suite des microsilicifications périphériques, l'actuel *état de surface* des galets des Couches intermédiaires ne correspond plus à ce qu'il était au moment du dépôt, si bien qu'il ne peut être d'aucune utilité pour la détermination de leur mode de façonnement.

La *forme générale*, au contraire, va nous fournir quelques renseignements : pour la plupart des galets, cette **forme est polyédrique, les arêtes sont rectilignes et limitées par des faces planes assez bien formées, le façonnement par le vent est manifeste**. Cependant, les arêtes sont nettement plus émoussées que chez les cailloux d'origine purement éolienne et il semble bien que **nos galets ont été secondairement remaniés par un agent liquide**.

Cette impression est renforcée par l'examen d'autres galets dont la forme se situe à l'opposé de celle qui résulte d'un façonnement éolien; ils ressemblent, aux dimensions près, aux galets du Conglomérat principal et nous leur attribuons sans peine une origine fluviale.

En définitive, on a l'impression que **dans un premier temps, les galets des Couches intermédiaires ont été façonnés par le vent, au cours d'un épisode continental plus ou moins désertique qui pourrait correspondre à celui pendant lequel se formait la Zone-Limite-Violette; puis, en un deuxième temps et en compagnie de toute une masse sableuse, ces galets furent repris et transportés par un élément liquide qui en refaçonna certains complètement, d'autres de façon moindre, tandis qu'un petit nombre n'était pas modifié**.

g) **La stratification** est très souvent *oblique*, fréquemment *entrecroisée*, beaucoup plus rarement *horizontale*. Les strates sont épaisses; leur irrégularité et leur faciès indiquent une sédimentation qui fut brutale et changeante au début, puis qui est allée en s'adoucissant.

h) **Epaisseur.**

Elle oscille, en général, autour de **30 mètres** avec des extrêmes de 10 à 35 m; les faibles épaisseurs s'observent dans le sud, aux environs de Luxeuil, Lure et Belfort. Nous fournissons plus loin, à titre de synthèse, un tableau des épaisseurs des Couches intermédiaires inférieures et supérieures (tableau XV, p. 81).

3° **La Zone-Violette-Supérieure.**

Dans les commentaires de la feuille de Zweibrücken, O. M. REIS et L. VON AMMON ont décrit en 1903 un banc de brèche dolomitique (*Dolomitbröckelbank*) qu'ils avaient cartographié; épais de 0,5 à 4 m, il était situé à une vingtaine de mètres sous la limite supérieure des Couches intermédiaires.

Dans la région de Volmunster, E. SCHUMACHER (1891) avait rencontré ce banc à 17 m au dessous de la même limite.

A son tour, F. FORCHE (1935) le signale près de Pirmasens et lui attribue une puissance maximale de 0,50 m, mais il ajoute que dans les Vosges ce banc n'existe pas : à notre avis il n'en est rien, nous le verrons.

E. MÜLLER (1954b) décrit ce banc sous le nom de « *Obere Dolomitbröckelzone* »; il l'a reconnu et étudié dans le domaine sarro-lorrain vers Saint-Avold, Merlebach, Sarrelouis et il le place entre les Couches intermédiaires inférieures et supérieures dont la limite est ainsi précisée.

Nous inclinons d'autant plus volontiers en ce sens, qu'en de multiples endroits nous avons observé et étudié ce banc à ce niveau stratigraphique. Nous l'appelons « **Zone-Violette** » à cause de sa couleur et « **Supérieur** » pour le distinguer de la Zone-Limite-Violette que nous avons décrite entre le Conglomérat principal et les Couches intermédiaires inférieures.

a) **Extension de la Zone-Violette-Supérieure (Z.V.S.).**

Nous venons de voir qu'elle a été reconnue en Sarre, dans le Palatinat et en Lorraine, dans la région de Volmunster. Plus au sud, nous l'avons retrouvée en divers endroits en Lorraine et en Alsace :

1. — *Sur le territoire de la feuille de Bouxwiller :*
 - à Adamswiller (quart n° 1), dans le chemin d'accès de la grande carrière Rauscher (1,0 km NE d'Adamswiller).
2. — *Sur le territoire de la feuille de Sarrebourg :*
 - à Vallerythal - Trois Fontaines (quart n° 8), dans une ancienne carrière située en bordure du vieux chemin de Plaine-de-Valsch (1,2 km NNE de l'église; $x : 455,25$; $y : 209,2$ (*));
 - à Walscheid (quart n° 8), dans le chemin creux qui, partant de la D. 96, se dirige à l'ouest vers la maison forestière de Freiwald (1,4 km NW de l'église; $x : 455,9$; $y : 207,25$ (*));
 - à Barville (quart n° 7), dans une tranchée de la route D. 44, à 100 m à l'ouest de la station de Barville ($x : 450,35$; $y : 204,8$ (*)), ainsi que dans une petite carrière située à 300 m au S de cette station sur la route de Vasperviller ($x : 450,5$; $y : 204,4$ (*)).
3. — *Sur le territoire de la feuille de Cirey-sur-Vezouse :*
 - à Val-et-Châtillon (quart n° 2), à 1,0 km NNW de l'église, en bordure du vieux chemin de Cirey, sur la rive gauche du ruisseau du Val ($x : 941,3$; $y : 106,6$);
 - à Parux (quart n° 2), dans une petite carrière située en bordure de la route D 180 (1,2 km SE de Parux; $x : 838,85$; $y : 102,4$).
4. — *En Alsace, sur le territoire de la feuille de Saverne :*
 - à Lutzelbourg (quart n° 1), dans une carrière située sur la gauche de la route D 38, entre Lutzelbourg et Phalsbourg (1,4 km NNW de l'église; $x : 961,0$; $y : 127,8$);
 - à Marmoutier (quart n° 2), dans une carrière située en face de la ferme de Biegen (1,8 km au NNW de Marmoutier; $x : 969,85$; $y : 123,6$).
5. — *Sur le territoire de la feuille de Brügères, à Aydoilles* (quart n° 2) en bordure d'un chemin vicinal (200 m SW de l'église; $x : 413,55$; $y : 157,15$ (*)).
6. — Dans le sud des Vosges, sur le territoire de la feuille de Lure, à Faymont (quart n° 6), 120 mètres au SE de l'église; ($x : 319,9$; $y : 298,45$).

Entre ces divers points, il reste évidemment de vastes espaces blancs où je n'ai pu jusqu'ici déceler cette zone avec certitude, plus sans doute par manque d'affleurements que par absence de cette assise.

b) Caractères pétrographiques de la Zone-Violette-Supérieure.

a) Examen macroscopique.

L'aspect de la Z.V.S. est tout à fait semblable à celui de la Zone-Limite-Violette : sur 0,50 à 1 m d'épaisseur, s'étale une zone de couleur générale violette interrompue par des mouches et des bariolures jaunâtres, verdâtres, blanchâtres...; des lits fort irréguliers et des nodules de dolomie et de cornaline apparaissent, mais leur présence n'est pas constante; il arrive en effet que l'un ou l'autre de ces minéraux fasse défaut et parfois même l'un et l'autre. Mais, même dans ce cas, la couleur violette persiste. C'est la raison pour laquelle j'ai préféré l'appellation « Zone-Violette-Supérieure » à celle de « Zone de brèche dolomitique » ou de « Zone à cornaline ».

β) Examen au microscope.

J. RICOUR et J. DE MAUTORT (1960) ont fourni une description micrographique très succincte de cette zone (p. 201); malheureusement ils l'ont présentée comme une illustration des grès des Couches intermédiaires, ce qui risque d'entraîner des confusions dans l'esprit d'un lecteur peu au fait de ces questions, en lui laissant croire que les 40 à 60 m de grès des Couches intermédiaires se présentent depuis le haut jusqu'en bas sous ce faciès particulier qu'est la Z.V.S.

L'observation de plusieurs lames minces de cette Zone-Violette-Supérieure nous permet de fournir les précisions suivantes : (pl. VII, fig. D et pl. VIII, fig. A).

— Les grains de quartz sont anguleux et cimentés par une matrice micacée et ferrugineuse; par endroits, ils cèdent la place à des amas de rhomboèdres de carbonates groupés en nodules ou en filonnets; dans la zone frontière, les cristaux de quartz sont littéralement attaqués et remplacés par des rhomboèdres de calcite. Lorsqu'on observe ces nodules, on s'aperçoit que les cristaux de calcite, situés en position périphérique, cèdent très rapidement la place vers le centre à des rhomboèdres de dolomite qui constituent la plus grande partie de ces amas de carbonates. Des fantômes de cristaux de quartz, disloqués et incomplètement digérés parsèment ces nodules; l'extinction simultanée de plusieurs fragments rapprochés laisse en effet à penser que ceux-ci appartenaient primitivement à un seul et même cristal.

Les nodules de dolomite sont à leur tour épigénisés par la silice qui cristallise très finement sous forme de cornaline.

Nous retrouvons donc ici les divers stades d'épigénisation observés dans la Zone-Limite-Violette : quartz primaire remplacé par de la calcite et de la dolomie qui cède à son tour la place à de la cornaline : identité de faciès et sans doute, comme nous allons le voir, identité de formation avec la Z.L.V.

c) Analyses chimiques dans la Z.V.S.

Huit analyses chimiques ont été effectuées dans la Zone-Violette-Supérieure et nous avons retrouvé les mêmes caractères que ceux observés à propos de la Zone-Limite-Violette : même variabilité rapide des sédiments dans le sens horizontal comme dans le sens vertical. Nous citons donc, à titre d'exemple, une analyse effectuée dans un niveau où de nombreuses et fort belles dolomitisations ont pu être observées au microscope (Vallerysthal-Trois-Fontaines).

Si O ₂	67,97 %	Ca O	11,40 %
Al ₂ O ₃	3,11 %	Na ₂ O	0,25 %
Fe ₂ O ₃	0,57 %	K ₂ O	1,90 %
Fe O	0,51 %	Ti O ₂	0,18 %
Mn O	0,16 %	P ₂ O ₅	0,08 %
Mg O	2,64 %	P.F.	11,79 %

Il convient de noter ici :

- la forte teneur en chaux et en magnésie,
- la diminution de la teneur en alumine et en potasse, qui dénotent la disparition des feldspaths par altération; confirmation a été fournie par un examen en lame mince.

d) Signification paléogéographique de la Zone-Violette-Supérieure.

Elle est à notre avis la même que celle de la Zone-Limite-Violette et, comme pour cette dernière, la Z.V.S. témoigne :

- d'un arrêt de la sédimentation;
- d'une mise à l'affleurement des Couches intermédiaires inférieures;
- d'une action pédologique sous un climat chaud et sans doute semi-aride.

Véritable surface fossile, cette Zone-Violette-Supérieure constitue la fin du cycle sédimentaire des Couches intermédiaires inférieures.

4° Les Couches intermédiaires supérieures.

Elles s'étendent en Alsace et en Lorraine, du N au S avec les mêmes caractères que ceux que les auteurs allemands ont observés et décrits dans le Palatinat et en Sarre.

Nos observations ont porté sur quatre-vingts carrières environ, sans compter les nombreux affleurements répartis le long des routes et des sentiers.

Au-dessus de la Zone-Limite-Supérieure que nous venons de décrire, les grès varient légèrement dans leur aspect et dans leurs caractéristiques tout en conservant cependant avec ceux des Couches intermédiaires inférieures un air de famille qui va nous amener à de fréquentes comparaisons.

a) *L'aspect « en grand »* permet en général de différencier, avant tout autre examen, les Couches intermédiaires supérieures des autres horizons gréseux : les bancs sont épais, massifs, irréguliers et séparés par des joints dont le tracé fort capricieux est souvent constitué par les limites supérieures et inférieures d'anciens cours d'eau divagants (stratification entrecroisée très ample).

La grande carrière de *Renauid* est, à cet égard, très suggestive (feuille d'Epinal, quart n° 8; 5,2 km SW d'Epinal; lieudit La Basse Henri); on y peut voir en effet l'entrecroisement ou la superposition de plusieurs cours d'eau coupés transversalement par le front de taille et larges d'une vingtaine de mètres.

Au contraire de ce qui se passe dans les Couches intermédiaires inférieures, de vastes lentilles d'argile sont fréquemment intercalées entre les bancs de grès; elles correspondent à d'anciens cours d'eau atteints de sénilité que l'on recoupe transversalement, longitudinalement ou obliquement selon l'orientation du front de taille par rapport au sens de marche de cet ancien cours d'eau qu'il est souvent facile de reconstituer; en voici deux exemples :

— A *Bru* (feuille de Rambervillers, quart n° 3; 450 m NW de l'église; $x : 421,5$; $y : 173,0$ (*) dans une carrière encore exploitée, le front de taille de direction WNW-ESE est jalonné par une série de lentilles *a*), *b*), *c*), allongées dans le sens de la coupe : ce sont les restes d'un ancien cours d'eau que l'on peut reconstituer, dont les méandres recoupent à plusieurs reprises le front de taille et qui s'écoulait suivant une direction sensiblement W-E (cf. pl. III, fig. C).

— A *Renauid* (feuille d'Epinal, quart n° 8; 6,9 km SW d'Epinal; lieudit « Maimbourg »), dans la carrière Didier, exploitée pour moellons, le front de taille principal est parallèle à une véritable rivière fossilisée, allongée dans le sens SW-NE et que traverse le chemin d'accès à la carrière, ce qui en permet une bonne coupe; le fond de ce lit fossile n'est pas exploité parce que très argileux et l'exploitant le dédaigne en le contournant.

Pour achever cette présentation, voici deux coupes qui illustrent assez bien ce qui vient d'être dit :

Première coupe : relevée à l'extrémité NE de la grande carrière du *Void d'Escles* (commune d'Escles, feuille d'Epinal, quart n° 5; carrière exploitée jusqu'en 1959 et située à 200 m NE du carrefour de la route N 460, entre Epinal et Darney, et de la D 64) :

— sommet de la coupe : sol.

— 1,00 m : banc massif constitué du haut en bas par un grès jaune, feldspathique et micacé, à grain moyen (diamètre moyen : 0,15 mm);

— 1,00 m : nombreux bancs peu épais (ordre du décimètre); grès jaunâtre feldspathique micacé; nombreux restes de végétaux (*Equisetum*);

— 1,00 m : banc massif : grès gris-clair, feldspathique; nombreux et beaux ripple-marks en surface (amplitude : 5 cm; longueur d'onde : 40 cm);

— 2,00 m : banc massif de grès blanc-jaunâtre, feldspathique et micacé, légèrement silicifié;

— 0,50 m : lentille d'argile bleue compacte, renfermant quelques Esthéries;

— 2,00 m : banc massif de grès jaune feldspathique et micacé, assez dur;

— 0,60 m : lentille d'argile bleutée, compacte, renfermant des Esthéries;

— 1,00 m : grès massif, dur, jaunâtre;

— Au-dessous, la coupe se poursuit dans la partie SW de la carrière par 3,50 m de grès gris-jaunâtre, dur et silicifié.

Malgré ce qu'en dit P. MAUBEUGE (1959, p. 110) qui décrit d'ailleurs cette carrière comme une illustration de la formation du *Grès à Voltzia* les lentilles d'argile sont ici les témoins de lits fossiles de cours d'eau.

Deuxième coupe : ancienne carrière de la *Féculerie des Bolottes* (feuille de Bruyères, quart n° 2; 0,7 km SSW de Fontenay; $x : 414,6$; $y : 157,55$ (*); cette coupe a été relevée en compagnie de M. J. NOIRÉ dans la partie supérieure des Couches intermédiaires supérieures :

— sol.

- 0,40 m : bancs peu épais (ordre du décimètre), de grès jaunâtre micacé, feldspathique; quelques beaux fragments d'*Equisetum*;
- 0,25 m : grès argileux plus ou moins bréchique et noduleux, jaune au sommet, lie-de-vin à la base;
- 0,15 m : grès en petits bancs (ordre du centimètre); couleur rose-violacée à rouille; petites mouchetures d'argile lie-de-vin;
- 0,85 m : bancs peu épais, au nombre de six à sept, de grès lie-de-vin, tâché de rouille, micacé et feldspathique;
- 0,75 m : argile en plaquettes; quelques rares plaquettes de grès; couleur lie-de-vin et verte;
- 0,10 m : grès verdâtre;
- 0,25 m : argile verte et lie-de-vin, quelques plaquettes de grès;
- 0,10 m : grès jaune;
- 0,30 m : argile compacte, violette et verte;
- 0,05 m : grès gris-vert;
- 0,10 m : argile compacte, violette et verte;
- 0,10 m : grès lie-de-vin et gris-vert;
- 0,10 m : argile en plaquettes, lie-de-vin; quelques plaquettes gréseuses;
- 0,05 m : grès lie-de-vin;
- 0,02 m : joint argileux verdâtre et violet;
- 1,10 m : banc massif de grès lie-de-vin, feldspathique et micacé, à grain moyen (diamètre moyen : 0,15 mm);
- base de la carrière.

Cette coupe montre une certaine abondance des lits argileux intercalés dans les bancs gréseux; c'est assez fréquent au sommet des Couches intermédiaires supérieures qui est souvent très argileux, contrairement à la partie moyenne et à la base qui sont nettement plus gréseuses, comme nous venons de le voir à la carrière du Void d'Escles et comme nous l'avons observé en de nombreuses autres localités.

b) *La couleur* est très généralement lie-de-vin, parfois jaunâtre, voire même blanchâtre.

— *lie-de-vin* : elle l'est dans les mêmes régions que précédemment, c'est-à-dire en Lorraine septentrionale et en Alsace.

— *jaune* : déjà à la latitude de Cirey-sur-Vezouse, la couleur jaune apparaît sporadiquement; en porte témoignage la carrière de *Lafrimbole* (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 2 : 1,3 km WNW de l'église; x : 943,7; y : 109,5), dans laquelle les couleurs jaune et lie-de-vin alternent. Mais c'est surtout dans la région de Rambervillers, de Bruyères, d'Epinal, de Darney, de Bains-les-Bains et de Plombières que le jaune domine très nettement sur le lie-de-vin. Et dans le triangle Epinal-Darney-Plombières, la coloration s'atténue même au point que les grès sont blanchâtres ou à peine teintés de jaune très pâle. On peut observer ce caractère dans les carrières de cette région qui exploitent ce niveau et notamment :

— dans la grande carrière déjà citée du *Void d'Escles* décrite par P. MAUBEUGE (1959, pp. 109-110) comme carrière de Grès à Voltzia; l'erreur commise par cet auteur tient précisément à la coloration « beige-jaunâtre à blanc-jaunâtre » de ces grès qui sont également « tâchés de rose à l'affleurement ». Cependant un examen attentif de la stratification, du grain et de l'aspect en grand de ces grès permet de lever tout doute sur leur appartenance.

— dans la localité de *Granges-de-Plombières*, juste en face de l'Ecole communale (x : 907,1; y : 337,65) où les grès qui forment une véritable muraille sont *blanchâtres*, parsemés de petites cavités remplies d'ocre-jaune; la silicification est ici très poussée.

La coloration lie-de-vin reparaît à l'extrême S des Vosges, vers Luxeuil, Mélisey, Lure et Belfort ainsi qu'en Alsace.

Il convient cependant de remarquer que dans une même carrière, parfois dans un même banc, les deux colorations peuvent coexister.

Parfois, comme à *Bru* (feuille de Rambervillers, quart n° 3, 400 m au NW de l'église; x : 421,6; y : 173,1 (*)), une coloration typiquement postgénétique est visible : des lignes brunes et noires (concentration d'oxyde de fer et de manganèse), dessinant volutes et arabesques, recoupent les lignes de stratification.

Ceci est également visible dans une ancienne et petite carrière située à *Saucenot* (commune de *Harol*, feuille d'Epinal, quart n° 6).

Cette coloration capricieuse, évidemment postgénétique est vraisemblablement due à des actions phréatiques quaternaires.

c) *Les nodules d'oxyde de manganèse*, si fréquents dans les Couches intermédiaires inférieures ont disparu; seules subsistent quelques taches et mouchetures; corrélativement, l'aspect n'est plus caverneux : tout au plus existe-t-il quelques rares petites vacuoles disséminées dans la masse.

d) *Granulométrie* (cf. 2^e partie, chap. I, tableau XX et XXI et fig. 13 C).

La dimension des grains est moindre que dans les Couches intermédiaires inférieures. Ce seul caractère permet dans de nombreux cas de différencier ces deux niveaux :

— le *diamètre moyen des grains* varie entre 0,13 et 0,21 mm avec une fréquence plus grande vers 0,15 mm.

— le *mode* oscille entre 0,20 et 0,30 mm avec une plus grande fréquence vers 0,24 mm.

e) *Composition minéralogique.*

α) *L'examen macroscopique* permet de déceler :

— d'abondants cristaux de quartz teintés superficiellement en lie-de-vin ou en jaune;

— d'assez nombreux grains de feldspath qui tranchent par leur blancheur sur le restant coloré de la roche;

— quelques paillettes de muscovite, nettement moins larges que dans les Couches intermédiaires inférieures.

β) *Examen microscopique.*

Les grains de quartz sont assez souvent engrenés les uns dans les autres, ce qui est l'indication d'un *nourrissage secondaire*. Comme pour le Grès vosgien, l'examen à la loupe binoculaire permet de déceler des nourrissages qui ont abouti d'une part à la formation de grosses bipyramides ayant englobé tout le grain et d'autre part à la formation de très petites pyramides qui semblent être fichées dans le grain. Dans certaines régions (notamment vers Plombières) d'importants phénomènes de *silicification d'origine hydrothermale* ont affecté ces grès qui sont devenus de véritables quartzites, dont les grains sont intimement engrenés les uns dans les autres. Des silicifications moins intenses apparaissent souvent, de-ci, de-là, sporadiquement.

Une série de comptages pétrographiques effectués sur des lames minces de diverses provenances a donné les résultats suivants groupés dans le tableau XIV; les feldspaths sont représentés uniquement par des alcalins.

TABLEAU XIV
Composition minéralogique des grès des Couches intermédiaires supérieures.

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
Lafrimbole (NE de Cirey-sur-Vezouse)	75	25	traces
Still (W de Molsheim)	78	21	1
Bru (E de Rambervillers)	72	24	4
Chaumousey (W d'Epinal)	70	30	traces
Bellefontaine (entre Plombières et Xertigny)	83	17	traces

f) *Composition chimique.*

Onze analyses chimiques ont été effectuées dans les couches intermédiaires supérieures : une a été réalisée par voie humide et neuf au moyen du quantomètre; les échantillons ont été prélevés dans toutes les Vosges Gréseuses.

Comme pour les couches intermédiaires inférieures, les résultats sont remarquablement proches les uns des autres et aucune variation importante n'a pu être observée. La même remarque sur la grande cohésion de ce niveau peut être faite ici et les conclusions sont les mêmes : faible teneur en chaux et en soude, ainsi qu'en éléments colorants.

A titre d'exemple, nous citons l'analyse effectuée par voie humide sur un échantillon prélevé à la base de la grande carrière de Hangviller (p. 101 et 102).

Si O ₂	89,10	Ca O	0,37
Al ₂ O ₃	5,08	Na ₂ O	0,20
Fe ₂ O ₃ :	0,33	K ₂ O	3,40
Fe O	0,60	Ti O ₂	0,24
Mn O	traces	P ₂ O ₅	0,16
Mg O	0,26	P.F.	0,74

g) **La stratification** est oblique, horizontale ou entrecroisée; ce dernier type est apparemment moins fréquent que les deux autres; ceci provient, je pense, de ce que les cours d'eau sont plus larges que dans les divers horizons sous-jacents : l'entrecroisement des strates est alors, comme on l'a vu, très lâche et c'est seulement dans de vastes carrières qu'on peut déceler ce type de stratification : il n'apparaît pas sur de petits affleurements (cf. 2^e partie, chap. IV et tableau XLIII p. 177).

h) **Les fossiles.**

Nous voudrions avant tout attirer l'attention sur la présence des végétaux : nous avons rencontré des *Equisetum* en une dizaine de carrières appartenant sans aucun doute possible aux Couches intermédiaires supérieures : ce n'est donc pas un cas isolé. Or jusqu'ici, aucun auteur à ma connaissance n'a encore signalé la présence de végétaux dans cet horizon; P. MAUBEUGE a bien trouvé des plantes dans la carrière du Void d'Escles, mais nous savons déjà qu'il plaçait celle-ci au niveau du Grès à Voltzia, peut-être à cause de cette trouvaille même (1959, p. 110).

Parmi les fossiles animaux, trois anciennes découvertes méritent d'être discutées :

— En 1850, W. P. SCHIMPER, signale la découverte d'une empreinte de patte de tortue sur une plaque de grès montrant également des traces fossilisées de gouttes de pluies. Cette empreinte griffue et à cinq doigts inégaux proviendrait d'une « carrière de Grès bigarré rouge de Nehwiller (Bas-Rhin), proche du Jaegerthal (A. DAUBRÉE, 1852, p. 116). En 1877, E. BENECKE (p. 77) nomme cette empreinte *Chelonichium vogesiacum* et la place dans le Grès à Voltzia; mais cette position stratigraphique est discutée par G. DUBOIS (1955, p. 101) puis par P. MAUBEUGE (1959, p. 73).

Personnellement, je placerais volontiers ce fossile dans les Couches intermédiaires supérieures : à Nehwiller en effet existent deux carrières abandonnées mais accessibles où étaient exploités les grès lie-devin des Couches intermédiaires supérieures, tandis que nulle part dans la région n'affleure de Grès à Voltzia.

— En 1877, E. BENECKE (p. 75) estime que l'empreinte problématique signalée par A. DAUBRÉE (1852, p. 88) et découverte près de Woerth au Liebfrauenberg est un fragment d'une empreinte de plaque de *Labyrinthodonte*. Je pense que la carrière dans laquelle fut rencontrée cette empreinte est celle qui se trouve sur le territoire de la commune de Mitschdorf, à 3,2 km NE de Woerth et qui fut exploitée pour bornes dans les Couches intermédiaires supérieures (feuille de Haguenau, quart n° 3; 0,6 km NW de l'église; x : 998,2; y : 154,1).

— En 1889, W. DEECKE signale la découverte de *Semionotus alsaticus* dans le Buntsandstein supérieur de Wasselonne (Bas-Rhin). Or ce poisson lépidostéen a été placé dans les Couches intermédiaires supérieures par G. DUBOIS qui en fit le fossile caractéristique du Vaslénien inférieur. En réalité, il a été recueilli à la base du Grès à Voltzia, dans le « Zwischenschichtenaenlicher Voltziensandstein » de SCHUMACHER (renseignement oral de M. J. SCHIRARDIN).

Pour terminer cet aperçu, signalons que les *Estheria* ne sont pas rares dans les niveaux argileux des Couches intermédiaires supérieures.

En conclusion, il convient de souligner que les rares fossiles ou empreintes récoltés dans les Couches intermédiaires indiquent un faciès continental.

i) **Les Couches violettes.**

A divers niveaux dans les Couches intermédiaires supérieures, il existe des zones violettes comparables dans leur aspect, leur structure et leurs caractères pétrographiques aux deux précédentes Zones-Violettes que nous avons citées et décrites. Moins puissantes cependant (elles ne mesurent en général que 20 à 30 cm d'épaisseur), elles peuvent renfermer ou non de la dolomie et de la cornaline.

Elles existent un peu partout : en Sarre, E. MÜLLER m'en a montré plusieurs superposées sur une même coupe et j'en ai observé dans une dizaine de carrières, depuis la frontière allemande jusqu'au S d'Epinal; je n'en ai pas rencontré plus au S, mais il est vraisemblable que c'est par manque d'affleurements connus plus que par absence véritable de ces zones. Localisons-les rapidement du N au S.

— Feuille de Walschbronn, quart n° 6; 1,5 km NW de Loutzwiller et 3,5 km N de Volmunster; x : 472,9; y : 261,5 (*) : la zone violette est située à 15 m environ au-dessous du sommet des Couches intermédiaires supérieures.

— *Feuille de Bitche*, quart n° 7; 0,9 km SE de *Lemberg*; $x : 969,0$; $y : 156,7$: **zone violette** située entre 5 et 7 m au-dessous du sommet des C.I.S.

— *Feuille de Sarrebourg*.

a) Quart n° 4; 1,1 km E de *Niderviller*; $x : 454,85$; $y : 212,75$ (*) : **zone dolomitique bréchique, jaunâtre et lie-de-vin** située à 2 m au-dessous du sommet des C.I.S.

b) Quart n° 8; 1,6 km NW de *Walscheid*, dans le chemin creux qui, partant de la D 96, se dirige à l'W vers la Maison forestière de *Freiwald*; $x : 455,75$; $y : 207,25$ (*) : **zone violette** située à environ 10 m au-dessous du sommet des C.I.S.

— *Feuille de Saverne* : dans les environs de *Phalsbourg*, F. FORCHE signale un banc dolomitique dans les plus hautes parties des Couches intermédiaires : ce ne peut donc pas être la Zone-Violette-Supérieure, mais **une zone violette située à l'intérieur des Couches intermédiaires supérieures**.

— *Feuille de Mosheim*, quart n° 3, entre *Dinsheim* et *Still*; 800 m SE de *Still* : **zone dolomitique et bréchique** située à 6 m au-dessous de la limite supérieure des C.I.S. ($x : 974,45$; $y : 105,7$).

— *Feuille de Rambervillers*, quart n° 7; 1,8 km S de *Sainte-Hélène*, près du hameau de *Hataneau*; $x : 420,1$; $y : 164,5$ (*) : **zone bréchique dolomitique jaune-violacé** située à une dizaine de mètres au-dessous de la limite supérieure des C.I.S.

— *Feuille de Brûyères*.

a) Quart n° 1; 2,5 km S-SW de *Deyvillers* (La Petite Failloux; $x : 407,8$; $y : 154,4$) où nous avons la coupe suivante de haut en bas :

- 2,00 m : nombreux petits bancs de grès lie-de-vin très clair, feldspathique, micacé, à grain fin;
- 0,50 m : banc de grès dur, lie-de-vin au sommet, jaune à la base;
- 0,50 m : **zone bréchique, dolomitique, violacée, à éléments jaunâtres et lie-de-vin**;
- 3,00 m : banc de grès blanc-jaunâtre à tâches noires, feldspathique, micacé, à grain fin.

Le niveau bréchique se trouve à 10 m environ au-dessous de la limite supérieure des C.I.S.

b) Quart n° 2; 800 m SE de *Méménil* (Scierie de l'étang de Rouot); $x : 416,9$; $y : 157,8$); de haut en bas nous observons :

- 2,00 m : grès jaune feldspathique et micacé, vacuolaire; nombreuses tâches d'oxyde de Mn; quelques restes très altérés de plantes;
- 0,10 m : **niveau bréchique, jaunâtre**;
- 0,10 m : argile verte;
- 0,10 m : **niveau bréchique, jaunâtre, blanchâtre et violacé**;
- 2,00 m : grès blanc, feldspathique et micacé;
- 0,50 m : grès friable, blanc; feldspathique et micacé;
- 0,30 m : **niveau bréchique, dolomitique, jaunâtre**.

Les niveaux bréchiques se trouvent ici encore à 10 mètres environ au-dessous de la limite supérieure des C.I.S.

— *Feuille d'Epinal*.

a) Quart n° 3; 1,5 km S de *Chaumousey* et 300 m SW de l'ancienne abbaye : dans cette carrière, on observe de haut en bas la coupe suivante, très rapidement résumée :

- 5 m : grès lie-de-vin, feldspathique et micacé se présentant en 3 bancs massifs;
- 1 m : grès avec zone bréchique; assise subdivisée en :
 - 0,50 m : grès lie-de-vin;
 - 0,20 m : **brèche dolomitique, jaune, verte, lie-de-vin et violacée très irrégulière et vacuolaire**;
 - 0,01 m : croûte noire ferrugineuse et manganésifère;
 - 0,20 m : grès gris clair;
- 6 m : grès gris clair, feldspathique et micacé se présentant en 4 ou 5 bancs massifs.

b) Quart n° 8; carrière de *Renauid*, lieudit La Basse Henri; au sommet de certains bancs massifs et épais de 3 à 4 m, on trouve une **zone, épaisse de 5 à 20 cm, colorée irrégulièrement en lie-de-vin, en beige-jaunâtre ou en vert; chacune de ces zones est friable, très vacuolaire et bréchique**; les vacuoles sont remplies d'une poudre ferrugineuse et dolomitique agglomérée en nodules et les éléments de la brèche sont **quartzo-dolomitique**; tout ceci laisse à penser que chacune de ces zones (il en existe trois dans cette carrière) constitue une véritable zone d'altération analogue à celles que nous avons décrites à propos de la Zone-Limite-Violette, puis de la Zone-Violette-Supérieure.

— *Feuille de Plombières*, quart n° 1; 350 m NNW de *Fontenoy-le-Château*; $x : 888,6$; $y : 337,4$; il existe un très bel affleurement en forme de muraille au pied duquel coule le Canal de l'Est; ici on ne voit pas de véritables zones violettes mais, **au niveau des joints qui séparent deux bancs successifs, il existe des petites cavités groupées et alignées en nombre important au sommet des bancs et parfois aussi, à la base de ceux-ci** (fig. 8). Originellement remplies d'une poudre teintée en noir par un oxyde de manganèse, ces cavités sont pour la plupart vidées de cette substance et l'ensemble simule une érosion alvéolaire. Il n'est pas interdit de penser que **les sommets alvéolés de ces bancs pourraient correspondre à d'anciennes surfaces taraudées** dont chacune aurait été le témoin :

— d'un arrêt de la sédimentation (fin d'un petit cycle), très fugace sans doute et non comparable en durée au phénomène du même genre qui a donné naissance aux diverses zones violettes;

— d'une altération très superficielle et peu intense qui a cependant tarauté cette surface et provoqué l'accumulation du manganèse.



FIG. 8. — Niveaux taraudés dans les Couches intermédiaires supérieures.

Cette interprétation a reçu l'approbation de tous les géologues à qui j'ai eu le plaisir de faire visiter cet affleurement et en particulier des géologues allemands spécialistes du Buntsandstein.

Une question peut se poser : comment distinguer les diverses zones-violettes les unes des autres et comment savoir, sur le terrain, quelle est celle devant laquelle on se trouve; la réponse réside dans l'examen de l'environnement et peut se résumer de la façon suivante :

1. — *La Zone-Limite-Violette* sépare deux formations très différentes l'une de l'autre : elle couronne le Conglomérat principal et est surmontée par les Couches intermédiaires inférieures (grès lie-de-vin, grain grossier, petits galets, vacuoles...); elle est généralement épaisse (un à plusieurs mètres).

2. — *La Zone-Violette-Supérieure* départage deux horizons peu dissemblables l'un de l'autre : elle coiffe les Couches intermédiaires inférieures et est recouverte par les Couches intermédiaires supérieures (grès lie-de-vin plus clair, grain plus fin, ni galets, ni vacuoles, sédimentation plus tranquille); l'épaisseur est tout au plus égale à un mètre.

3. — *Les petites Zones-Violettes* situées dans les Couches intermédiaires supérieures constituent de simples arrêts de la sédimentation suivis de l'établissement d'une surface d'altération; avec chacune d'elles s'achève un cycle mineur de sédimentation et au-dessus de chacune d'elles les dépôts reprennent sans changement; les caractères des grès sont identiques de part et d'autre de ces petites zones violettes peu épaisses (20 à 30 cm) ou de ces niveaux taraudés qui en sont des équivalents mineurs.

5° Limite supérieure des Couches intermédiaires.

A leur sommet, les Couches intermédiaires supérieures varient légèrement dans leur aspect : la couleur s'éclaircit et le grain devient plus fin; c'est ce qui avait conduit E. SCHUMACHER (1891) à placer ce niveau sommital dans le Grès à Voltzia mais, pour bien souligner sa ressemblance avec les Couches intermédiaires véritables, il l'avait nommé « *Zwischenschichtenähnlicher Voltziesandstein* » c'est-à-dire « *Grès à Voltzia semblable aux Couches intermédiaires* ». Ce terme ambigu traduit bien l'hésitation qu'éprouva cet auteur lorsqu'il voulut tracer une limite entre les Couches intermédiaires et le Grès à Voltzia.

L'hésitation cesse avec A. SCHAD (1934a) qui affirme sans ambage... l'imprécision de cette limite. Reprenant le même thème, F. FORCHE (1935) abonde en ce sens et trace une limite approximative là où des bancs épais de grès à grain fin (Grès à Voltzia) succèdent à des grès en bancs minces souvent interrompus par des lits argileux (Couches intermédiaires).

Notons que E. SCHUMACHER (1891) avait signalé la présence d'une « *Dolomitbröckelbank* » à la base du Grès à Voltzia, mais il n'avait pas songé à l'utiliser comme limite. E. MÜLLER (*thèse*, 1952) franchit ce pas et trace la frontière entre Couches intermédiaires et Grès à Voltzia avec une précision de l'ordre du centimètre. Cependant E. MÜLLER place cette « *Basale Dolomitbrekzie* » à l'extrême base du Grès à Voltzia. Après étude de ses caractères pétrographiques nous préférons la situer au sommet des Couches intermédiaires (cf. tableau XI, p. 66) : nous la décrivons plus loin sous le nom de « *Banc de brèche dolomitique supérieur* ».

Reprenons donc tout ceci : la difficulté que l'on éprouve à étudier cette limite tient d'abord au manque d'affleurements convenables; en effet, sur 225 carrières étudiées dans ces deux niveaux (150 dans le Grès à Voltzia et 75 dans les Couches intermédiaires supérieures) onze seulement m'ont fourni ce contact, ce qui est peu, mais permet tout de même de tirer quelques conclusions.

Il est certain qu'à leur sommet, les Couches intermédiaires supérieures sont plus argileuses : la coupe déjà citée (p. 73) de la Féculerie des Bolottes en fournit un bon exemple; dans certains cas même, une argile-limite (*Grenzletten*) couronne cet horizon : je citerai deux cas typiques :

— Carrière située entre *Dinsheim* et *Steill* citée p. 77, qui présente la coupe suivante de haut en bas :

Base du Grès à Voltzia :

- 0,40 m : grès jaune, à tâches ferrugineuses et mangénésifères; grain fin;
- 1,00 m : grès bariolé, jaune-beige; trace de végétaux, nombreux nodules d'oxyde de fer;

Couches intermédiaires supérieures :

- 0,20 m : **Banc de brèche dolomitique supérieur**; géodes et filonnets de calcite;
- 1,00 m : **argile-limite** lie-de-vin plus ou moins violacée;
- 5,00 m : grès lie-de-vin, feldspathique et micacé; grain moyen; galets d'argile;
- 1,00 m : zone bréchique dolomitique violette, jaunâtre, bariolée de tâches ferrugineuses et mangénésifères (p. 77);
- 3,00 m : alternance de bancs de grès lie-de-vin et de lits d'argile de même couleur.

— Carrière d'*Osenbach* (feuille de Neuf-Brisach, quart n° 1; 500 m NE de l'église; $x : 964,2$; $y : 343,3$) où une coupe complète entre le Muschelkalk et les Couches intermédiaires peut être résumée ainsi :

- 1,50 m : *Grès coquillier* calcareux, gris-jaunâtre;

Grès à Voltzia :

- 6,00 m : **Région argileuse** : alternance de grès lie-de-vin et d'argile;
- 5,00 m : **Grès à meules** en bancs épais et massifs;

Couches intermédiaires :

- 0,50 m : **Banc de brèche dolomitique supérieur**;
- 0,50 m : **argile-limite**, lie-de-vin;
- 1,00 m : alternance de grès lie-de-vin très argileux et d'argile lie-de-vin;
- 3,50 m : grès lie-de-vin, dur :
interlit argileux;
- 2,80 m : grès lie-de-vin ;
interlit argileux;
- 1,00 m : grès lie-de-vin.

Mais souvent l'**Argile-Limite** fait défaut et, sous le banc de brèche dolomitique supérieur, les Couches intermédiaires supérieures s'achèvent par un horizon purement gréseux : on le voit fort bien dans les carrières de Grès à Voltzia que nous citons en indiquant la page où est fournie la coupe détaillée :

- Waldhambach (carrière de Rehmühle), p. 99.
- Hangwiller, p. 101.
- Vallerysthal-Trois Fontaines, p. 104.
- Darney (Forge Kaïtel), p. 109.

On le voit encore mieux dans les deux carrières suivantes qui permettent une bonne étude du Grès à Voltzia et du sommet des Couches intermédiaires.

a) Carrière de Niderwiller déjà citée p. 77 et décrite en détail p. 103 :

Grès à Voltzia.

- 7,30 m : **Région argileuse** constituée par une alternance d'argile et de grès lie-de-vin foncé.
- 15,10 m : **Grès à meules**, gris, à grain fin; quelques lits contenant des végétaux sont intercalés entre les bancs massifs, surtout à la partie inférieure.

Couches intermédiaires supérieures :

- 0,50 m : **Banc de brèche dolomitique supérieur**;
- 2,00 m : grès lie-de-vin, feldspathique et micacé, quelques cavités sont remplies d'une poudre ferrugineuse et mangénésifère;
- 0,50 m : zone dolomitique et bréchique, non continue, lenticulaire, lie-de-vin, jaunâtre, blanchâtre (p. 77);
- 4,00 m : grès lie-de-vin, grossier, feldspathique et micacé.

b) Carrière de Garrebourog (feuille de Saverne, quart n° 1; 550 m NE de l'église; $x : 960,2$; $y : 124,3$) :

Grès à Voltzia (niveau du Grès à meules) : 4,80 m de grès en bancs de 30 à 100 cm comportant à la partie inférieure une couche riche en végétaux;

Couches intermédiaires supérieures :

- 0,40 m : **Banc de brèche dolomitique supérieur;**
- 0,50 m : grès lie-de-vin, très vacuolaire, à grain moyen;
- 2,00 m : *Idem;*
- 5,00 m : grès lie-de-vin, grain grossier; stratification oblique se présentant en un seul banc;
- 1,00 m : *Idem.*

En conclusion : qu'il existe ou non un banc d'Argile-Limite, la frontière entre Grès à Voltzia et Couches intermédiaires est précise : elle passe au-dessus du Banc de brèche dolomitique supérieur que nous allons maintenant étudier.

6° Le banc de brèche dolomitique supérieur.

Il est donc l'équivalent de la « *Dolomitbröckelbank* » de E. SCHUMACHER et de la « *Basale Dolomitbrekzie* » de E. MÜLLER.

a) *Son extension* est très générale; nous avons trouvé ce niveau partout où le contact entre les Couches intermédiaires et le Grès à Voltzia a pu être observé; il s'étend au-dessus de l'Argile-Limite ou, quand celle-ci n'existe pas, au-dessus des derniers bancs de grès lie-de-vin caractéristiques des Couches intermédiaires.

b) *L'épaisseur* de ce niveau varie entre 0,20 et 0,50 m; en une seule carrière (Rosheim, lieu-dit l'Echwald), je l'ai observé sur 1,40 m de hauteur, mais ceci constitue une exception.

c) *Caractères pétrographiques.*

α) *Examen macroscopique.*

A l'affleurement, ce niveau se présente sous la forme d'un **banc de grès beige-jaunâtre à grain très fin, bourré de fragmenst noduleux ou bréchiques de dolomie de même couleur. Des filonnets de calcite cheminent à travers cette masse creusée par endroits de géodes remplies également de calcite.**

β) *Examen au microscope.*

Cet examen révèle la présence de nombreux grains de quartz qui constituent une partie de la masse du grès; mais il décèle aussi de nombreux nodules et filonnets dûs à la juxtaposition de petits et très nombreux rhomboédres de dolomie. Dans les parties gréseuses, le ciment est presque toujours dolomitique, mais parfois simplement constitué par une fine pâte ferrugineuse.

L'épigenisation débute par le ciment, en respectant les grains de quartz; seuls les interstices sont remplis par les rhomboédres de dolomie (pl. VIII, fig. C). Au stade suivant, **les grains de quartz sont corrodés et remplacés par la dolomie**; ils apparaissent alors plus petits, fragmentaires et sont séparés par de plus grands intervalles comblés par les carbonates. De là, on passe progressivement aux nodules et aux filonnets à l'intérieur desquels les quartz sont plus ou moins complètement digérés : ces « fantômes » de quartz peuvent être encore abondants et assez gros (pl. VIII, fig. C) ou au contraire beaucoup plus rares et de petite taille; enfin, ils peuvent avoir complètement disparu.

En certains endroits, on assiste à un véritable remplacement du quartz par les carbonates : les grains, dont le contour est encore bien visible en lumière naturelle, apparaissent, en lumière polarisée, comme pénétrés par les petits rhomboédres de dolomie qui s'infiltrèrent partout, disloquant le quart et le digérant.

Parfois aussi, on peut observer de grands cristaux de calcite épigénisés, comme les quartz, par de la dolomie qui les envahit progressivement.

En d'autres lits, il n'y a plus de dolomie mais seulement un grès dont les éléments sont faits de grains détritiques de quartz et de cornaline.

Ainsi, à propos de ce banc de brèche dolomitique, nous retrouvons les mêmes phénomènes que ceux observés et décrits précédemment au sujet de la Zone-Limite-Violette et de la Zone-Violette-Supérieure.

d) *Signification paléogéographique du Banc de brèche dolomitique supérieur.*

Elle est comparable, pensons-nous, à celle évoquée à propos de ces précédentes zones et impliquerait une action pédologique sous climat chaud sur un sédiment exondé, avec des remaniements ayant conduit à la formation d'une brèche.

7° Puissance des couches intermédiaires.

A leur base, comme à leur sommet, les Couches intermédiaires sont délimitées de façon très précise; quand les affleurements le permettent, il est donc possible de mesurer avec exactitude leur épaisseur.

Nous avons rassemblé en un tableau les diverses puissances que présentent, dans les Vosges, les Couches intermédiaires inférieures et supérieures.

TABLEAU XV
Epaisseur des Couches intermédiaires des Vosges Gréseuses

Localités	Puissances des Couches Intermédiaires		Puissance totale
	Inférieures	Supérieures	
Région de Bitche et de la Petite Pierre	33 m	32 m	65 m
Région de Phalsbourg	35 m	30 m	65 m
Région située au S de Lutzelbourg :			
- Garrebouurg	25 m	33 m	58 m
- Saint-Louis	35 m	15 m	50 m
Walscheid	25 à 30 m	25 à 30 m	55 à 60 m
Val-et-Châtillon	35 m	10 m	45 m
Région de Bréménil-Badonviller	30 m	10 m	40 m
Région de Bruyères et d'Epinal	35 m	10 m	45 m
Région de Darney et de Monthureux-sur-Saône	30 m	10 m	40 m
Région de Plombières	25 m	15 m	40 m
Région de Fougerolles			25 m
Région située au S de Ronchamp	12 à 13 m	12 à 13 m	25 m
Région de Belfort	10 m	10 m	20 m
Châtillon-sur-Saône	0 m	4 à 5 m	4 à 5 m

Il convient de remarquer que la puissance des Couches intermédiaires diminue régulièrement vers le S et vers l'W; en ces régions méridionales et occidentales, il peut même arriver que les Couches intermédiaires soient directement transgressives sur le socle : à Fougerolles (Haute-Saône), sur la rive droite du ruisseau de la Combeauté, le granite est recouvert par les Couches intermédiaires inférieures et à Châtillon-sur-Saône, c'est le sommet des Couches intermédiaires supérieures (épaisses seulement de 4 à 5 m) qui coiffe le socle cristallin ou cristallophyllien. Associé à l'étude des directions de courants, ce caractère permet de tirer une conclusion paléogéographique importante : le socle continental que les grès du Buntsandstein envahissaient progressivement était incliné en pente douce vers le NE.

8° Conclusion à l'étude des Couches intermédiaires.

Ces couches débutent parfois par un banc bréchique situé immédiatement au-dessus de la Zone-Limite-Violette dont il remanie les éléments faits de grès, de dolomie et de cornaline; ce « Banc de brèche dolomitique basal » indique une reprise de la sédimentation et constitue le témoin du début de la transgression du Buntsandstein supérieur.

Les Couches intermédiaires proprement dites présentent une couleur générale lie-de-vin qui, localement et surtout dans les régions d'anciens seuils, devient gris-jaunâtre voire jaune et parfois blanche.

Les mouches et les cavités remplies d'oxyde de manganèse sont abondantes dans les Couches inférieures, beaucoup plus rares dans les supérieures; leur altération à l'affleurement et leur disparition totale ou partielle laisse des vides qui confèrent à la roche un aspect caverneux.

A la base le grain est plus grossier que celui du Grès vosgien (0,24 mm); puis il s'affine et tend vers un diamètre moyen égal à 0,15 mm.

En dehors du quartz qui constitue l'essentiel de ce grès le feldspath est abondant (20 % en moyenne) et le mica, assez rare, se présente en larges paillettes qui mettent sa présence en valeur et lui font attribuer plus d'importance qu'il n'en possède en réalité.

La stratification est surtout oblique et entrecroisée; elle est parfois horizontale, mais plus fréquemment dans les Couches supérieures que dans les inférieures : la sédimentation, changeante et brutale au début, est allée en s'adoucissant.

Dans les Couches intermédiaires inférieures seulement, on trouve des galets disséminés dans la masse : en plus ou moins grand nombre, ils n'arrivent cependant jamais, en Lorraine et en Alsace, à constituer ce que l'on appelle communément un conglomérat mais ils ne disparaissent jamais tout à fait, même dans les régions de seuils. Essentiellement constitués de quartz de petite taille, ces galets sont beaucoup moins nombreux et plus petits que ceux observés dans le Conglomérat principal; ils n'en présentent d'ailleurs pas le faciès et laissent à penser qu'ils ont subi un façonnement éolien suivi d'un remaniement fluvial.

Des fossiles végétaux (*Equisetum*) ont été observés, mais dans les seules Couches intermédiaires supérieures.

Quelques fossiles animaux ont été découverts, tous continentaux.

Aspect, grosseur du grain, présence ou absence de galets ou de fossiles végétaux, stratification même, permettent de séparer les Couches intermédiaires en deux niveaux. La limite entre ces deux parties est matérialisée par une Zone-Violette-Supérieure très semblable dans son aspect et ses caractères pétrographiques à la Zone-Limite-Violette qui couronne le Conglomérat principal; comme celle-ci, elle a une signification paléogéographique bien nette : véritable surface d'altération fossilisée, elle constitue la fin du cycle sédimentaire des Couches intermédiaires inférieures.

D'autres niveaux violets, bréchiques et dolomitiques apparaissent dans les Couches intermédiaires supérieures et constituent la fin de cycles mineurs moins importants au regard de la paléogéographie.

Enfin les Couches intermédiaires sont coiffées par un Banc de brèche dolomitique supérieur qui est comparable aux précédentes zones violettes.

Les Couches intermédiaires diminuent régulièrement de puissance vers le SW où il leur arrive d'être directement transgressives sur le socle ancien.

C. — LE GRÈS A VOLTZIA

1° Subdivisions et limites.

Le tableau XI, p. 145, résume les diverses subdivisions du Grès à Voltzia; rappelons qu'il met en regard :

- la terminologie allemande classique,
- la terminologie française que nous proposons et qui s'inspire fortement de la précédente,
- la terminologie employée par les anciens auteurs français : ce parallèle sera utile lorsque nous discuterons la limite supérieure du Grès à Voltzia.

« Grès à Voltzia » est la traduction française par A. DE LAPPARENT (1883, p. 801) du terme « Voltziensandstein » que E. WEISS attribue à la partie riche en plantes des Grès bigarrés de la région sarroise (1864, p. 279). Quelques années plus tard, cette appellation fut reprise par R. LEPSIUS (1875, p. 92) puis par E. W. BENECKE (1877, p. 537 et 561) pour désigner la même formation en Alsace et en Lorraine, puis par tous les auteurs allemands qui étudièrent ces régions; à la suite de A. DE LAPPARENT, les auteurs français firent de même et le terme « Grès à Voltzia » est maintenant classique.

K. STAESCHE (1927) divisa cette formation en deux horizons distincts :

- au sommet, la *Lettenregion*,
- à la base, la *Werksteinzone*;

ils correspondent, sur le terrain, à deux zones reconnaissables au premier coup d'œil, car leurs faciès sont bien différents.

Pour E. MÜLLER (1954), la *Werksteinzone* débute à la base par la « Basale Dolomitbrekzie » dont nous faisons plutôt le sommet des Couches intermédiaires, sous le nom de Banc de brèche dolomitique supérieur (p. 80 et 82). A notre avis, la base de la *Werksteinzone* est marquée par « l'Horizon à plantes de base », décrit en Sarre par E. MÜLLER et qui existe sur toute l'étendue des Vosges Gréseuses (*Pflanzenführende Lage*).

Le sommet de la *Lettenregion* est constitué par un banc d'argile appelé « *Grenzletten* » (WEISS, 1869b, p. 838 et 840) ou *Argile-Limite* (N. THEOBALD, 1951, p. 13) parce qu'il constitue le

sommet du Grès à Voltzia et par conséquent celui du Buntsandstein; en effet, au-dessus débute le *Muschelsandstein* (E. WEISS, 1869a, p. 216) ou *Grès coquillier* (A. DE LAPPARENT, 1883, p. 801) qui est considéré avec juste raison par les auteurs modernes comme le niveau inférieur du Muschelkalk.

2° Caractères morphologiques (pl. III, fig. A).

A eux seuls ils permettent presque toujours de distinguer le Grès à Voltzia de tous les autres niveaux. Cette formation ne peut être étudiée que grâce aux carrières : elle n'est pas visible en dehors de ces exploitations parce que recouverte par la végétation et elle n'affleure pratiquement jamais.

a) Le Grès à Voltzia inférieur ou Grès à Meules.

Il débute par « l'Horizon à plantes de base » : grès jaune, taché de rouille qui renferme de nombreux restes de plantes souvent carbonisés. Cet horizon est épais de 0,5 à 1 m et s'observe partout.

Au-dessus, le Grès à Voltzia se présente en bancs épais de 1 à 5 m — ou même 10 m — de puissance, réguliers, séparés par de très minces lits argilo-micacés; il s'élève d'un seul jet et constitue l'essentiel du front de taille des carrières. Parfois ce niveau ne comporte dans sa totalité que deux ou trois bancs simplement séparés par les joints de stratification argilo-micacés.

Parfois aussi des bancs argileux de plusieurs décimètres d'épaisseur entrecoupent cet ensemble; en réalité, quand l'affleurement est suffisamment vaste, on s'aperçoit que ce ne sont pas de véritables bancs mais tout bonnement de vastes lentilles qui correspondent à d'anciens cours d'eau semblables à ceux que L. GRAUVOGEL a décrits (1947a).

b) Le Grès à Voltzia supérieur ou Grès argileux.

Aux bancs massifs de l'horizon précédent succède maintenant une alternance de bancs de grès et de lits d'argile qui constitue un ensemble s'éboulant facilement et à pentes adoucies.

Grès et argiles sont très finement lités et riches en micas blancs; déposés à plat, ceux-ci sont rassemblés en très minces strates qui alternent avec les lits de quartz et de feldspaths.

Comme l'a indiqué K. STAESCHE (1927), cet horizon (*Lettenregion* des auteurs allemands) comporte trois parties qui sont, de bas en haut :

1. — *Un premier ensemble très argileux* qui permet de tracer avec précision la limite entre le Grès à Voltzia inférieur uniquement gréseux et le Grès à Voltzia supérieur argilo-gréseux; à ce sujet une confusion risque de se produire avec les vastes lentilles d'argile du Grès à Meules; pour lever le doute, il convient d'étendre l'étude aux carrières voisines : ce qui est lentille aura disparu et ce qui est vraiment un banc sera retrouvé au même niveau.

2. — *Un banc gréseux massif* (parfois remplacé par plusieurs bancs plus petits) situé en général vers le milieu des « Grès argileux » et qui détermine une pente plus raide, parfois même un surplomb.

3. — *Un deuxième ensemble très argileux* couronné par le banc dit « *Argile-Limite* » qui constitue l'extrême sommet du Buntsandstein; au-dessus, en effet, débute le faciès très caractéristique du Grès coquillier que nous décrirons plus loin (p. 95).

Cette trilogie du Grès argileux est très souvent visible, mais pas toujours, il faut en convenir; il suffira pour s'en convaincre de jeter un coup d'œil sur les coupes des principales carrières situées entre Belfort et le Palatinat, décrites pp. 99 à 112, mais surtout sur celles portant les numéros 4, 13, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 29, 34, 35, 39 et d'observer sur la planche I les carrières d'Ottwiller, de Saint-Louis, de Reinhardsmunster, d'Allenwiller, de Wasselonne, de Cirey-sur-Vezouse, de Val-et-Châtillon et de Balbronn.

3° La couleur.

a) *Dans le Grès à Meules*, on remarque, par ordre de fréquence, les colorations suivantes :

- gris, c'est le cas le plus général;
- beige, assez souvent;
- parfois rose ou blanc;
- rarement lie-de-vin.

Ces colorations ne sont pas réparties sans ordre : généralement la base du Grès à Meules est beige, piquetée de points jaunes ou oranges et le grain est un peu plus grossier; au-dessus, les colorations grises, beiges, roses ou blanches règnent dans l'ordre de fréquence indiqué ci-dessus; c'est le niveau le plus exploité; quant à la coloration lie-de-vin, lorsqu'elle existe, c'est au sommet qu'elle est cantonnée, annonçant ainsi le Grès argileux.

Dans toute cette masse apparaissent aussi des lentilles et des bancs d'un grès ocre-jaune mêlé de brun qui renferme de nombreux restes de végétaux souvent épigénisés par de l'hématite brune.

b) *Dans le Grès argileux*, la coloration est presque toujours lie-de-vin; on peut cependant rencontrer une coloration grise, peu fréquente il est vrai, ou beige, encore moins fréquente, ou jaunâtre mais elle est rarissime.

Certains bancs renferment des fossiles animaux et sont alors colorés en ocre-rouge, en orangé ou en brun-rouge clair; rares vers le S et le centre de la Lorraine, ces bancs sont plus fréquents vers le N, dans la région de Phalsbourg, de Bitche et de Volmunster.

4° Dimension des grains.

Les grains sont nettement plus fins que dans les formations sous-jacentes (cf. courbes granulométriques citées dans la deuxième partie (chap. I, fig. 13 D, p. 122); par ce caractère également, le Grès à Voltzia se distingue nettement de toutes les formations précédentes.

5° Caractères pétrographiques.

Ils sont identiques pour les deux parties, inférieure et supérieure, du Grès à Voltzia.

a) Aspect macroscopique.

A l'œil nu, on observe :

- d'abondants cristaux de quartz incolore, blanc ou rose; superficiellement teintés en beige, jaune, etc.;
- d'assez nombreux grains de feldspath blanc;
- des lamelles de muscovite : elles sont rassemblées en lits très minces où elles abondent, ou disséminées dans la masse où elles sont rares.

b) Examen microscopique.

Une série de comptages effectués sur des lames minces de diverses provenances nous a permis de préciser les pourcentages relatifs des principaux constituants du Grès à Voltzia; les résultats sont groupés dans le tableau XV bis.

TABLEAU XV bis
Pourcentages relatifs des principaux constituants du Grès à Voltzia

Localités	Quartz (en %)	Feldspath (en %)	Mica (en %)
Hottviller (entre Volmunster et Bitche)	70	20	10
Deneuvre près Baccarat	73	25	2
Sainte-Hélène près Rambervillers	75	24	1
Jeuxey près Epinal	78	20	2
Darney (Forge Kâltel)	65	35	0, 1
Bleurville près Monthureux-sur-Saône	68	32	1
Frain près Lamarche	82	17	1

Ce tableau fait ressortir la forte proportion des feldspaths contenus dans ces grès ainsi que la faible teneur en micas.

L'analyse des lames minces nous permet aussi de conclure que :

— les grains de quartz sont engrenés les uns dans les autres et soudés les uns aux autres; ceci constitue un indice de nourrissage qui n'apparaît cependant que très rarement en lame mince; en revanche, l'examen des grains entiers, à l'aide de la loupe binoculaire, montre un *nourrissage extrêmement important* sur de très nombreux grains;

— les feldspaths sont représentés par de l'orthose; il n'y a généralement pas trace de feldspaths plagioclases;

— les micas sont exclusivement constitués par de la muscovite;

— de la calcédoine apparaît parfois, mais assez rarement et toujours de façon épisodique sauf dans la région de Monthureux-sur-Saône et de Darney où elle est plus fréquente.

6° Composition chimique.

48 analyses ont été effectuées dans le Grès à Voltzia et 16 dans le Grès coquillier.

Dans le Grès à Voltzia, 35 analyses ont été réalisées sur des échantillons provenant du Grès à Meules (1 par voie humide et 34 par quantométrie) et 13 sur des échantillons en provenance des Grès argileux (1 par voie humide et 12 par quantométrie); dans le Grès coquillier, 15 ont été réalisées par voie quantométrique et 1 par voie humide.

Nous avons poursuivi plusieurs buts :

a) Rechercher s'il existait des différences entre la composition géochimique des grès pour lesquels faune et faciès indiquaient un mode de dépôt continental et celle des grès pour lesquels faune et faciès indiquaient un mode de dépôt marin.

b) Comparer les niveaux marins du Grès argileux avec le Grès coquillier.

c) Déceler dans la composition chimique de tous ces grès d'éventuelles variations qui pourraient nous permettre de séparer les divers niveaux que nous avons observés sur le terrain.

d) Déceler d'éventuelles variations qui auraient pu nous permettre de définir des provinces différentes. Plusieurs séries de 4 ou 5 échantillons ont donc été analysées; dans chaque série, les échantillons ont été prélevés du haut en bas d'une même carrière.

Toutes ces séries ayant fourni des résultats comparables, nous n'en citons donc qu'une, à titre d'exemple; c'est elle qui provient de la grande carrière encore exploitée de Hangviller (description p. 101).

TABLEAU XVI

Comparaison de la composition chimique d'échantillons de Grès à Voltzia et de Grès coquillier

	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4
	Grès à Meules	Grès argileux (continental)	Grès argileux (niveau marin)	Grès coquillier
Si O ₂	78,61	81,11		48,22
Al ₂ O ₃	10,77	8,87	8,70	7,16
Fe ₂ O ₃	1,27	1,47	3,10	2,61
Fe O	0,73	0,67		0,35
Mn O	0,01	traces	0,17	0,23
Mg O	0,90	0,79	4,00	3,30
Ca O	traces	traces	5,00	17,20
Na ₂ O	0,20	0,20		0,20
K ₂ O	4,80	4,00		2,80
Ti O ₂	0,49	0,51	0,66	0,44
P ₂ O ₅	0,16	0,09		0,17
P. F.	1,60	1,44		18,00
Total	99,54	99,15		100,68

Ce tableau autorise les commentaires suivants :

a) Les niveaux marins du Grès argileux (échantillon 3) présentent une composition chimique très différente de celle du Grès argileux normal à faciès continental (échantillon 2); les différences portent essentiellement sur la chaux et la magnésie.

b) Les niveaux marins du Grès argileux (échantillon 3) présentent une composition chimique très voisine de celle du Grès coquillier.

c) Aucune autre variation que celles que nous venons de citer n'a pu être décelée; en particulier Grès à Meules et Grès argileux normal présentent la même composition chimique (échantillons 1 et 2).

7° La stratification.

Elle est presque toujours *horizontale*, indiquant une sédimentation nettement plus calme que dans les couches sous-jacentes (Couches intermédiaires et Buntsandstein moyen).

Cependant à l'intérieur des bancs de grès apparaît assez souvent une très légère *stratification oblique* qui, comme nous le montrons plus loin (2° partie, chap. IV, p. 169) est affectée d'une inclinaison plus faible que dans le Buntsandstein moyen et dans les Couches intermédiaires (tableau XXXVIII, p. 170). Il est de même pour la *stratification entrecroisée* où la faible valeur des pendages permet d'évoquer des cours d'eau à allure très lente.

En ce sens encore, le Grès à Voltzia se distingue nettement de toutes les formations sous-jacentes.

En outre, cette étude laisse apparaître une différence entre Grès à Voltzia supérieur et inférieur; dans le Grès argileux, la stratification est plus souvent horizontale que dans le Grès à Meules et le litage plus fin, pelliculaire, indique un dépôt en eau plus tranquille.

8° Les Fossiles.

Nombreux sont les auteurs qui les ont étudiés : la liste suivante, qui respecte l'ordre chronologique, est en effet assez longue bien que seuls les travaux relatifs à la Lorraine et à l'Alsace soient cités, ainsi que les plus importants parmi ceux qui concernent la Sarre et le Palatinat :

L. VOLTZ (1836); H. VON MEYER (1836); H. HOGARD (1837); W. P. SCHIMPER et A. MOUGEOT (1844); W. P. SCHIMPER (1850 et 1853); A. DAUBRÉE (1852 et 1858); A. ETALLON (1859); E. WEISS (1864 et 1869); E. W. BENECKE (1877); A. BRACONNIER (1879 et 1883); G. BLEICHER (1887); A. LIETARD (1888); W. DEECKE (1889); E. SCHUMACHER (1891 et 1902); C. W. VON GÜMBEL (1894); P. FLICHE (1905, 1906, 1908, 1910); F. HEIM (1910); Ph. BILL (1914); A. HANDLIRSCH (1914); E. KRAUS (1925); K. STAESCHE (1927); M. SCHMIDT (1928); G. CORROY (1928); A. SCHAD (1934); F. FORCHE (1935); H. RUCKLIN (1934, 1936, 1937 et 1953); F. FIRTON (1934 et 1936); L. GRAUVOGEL (1947, 1951 et 1952); G. et C. DUBOIS (1955); P. MAUBEUGE (1959).

Les principaux travaux ont été soulignés : ce sont ceux qui constituent une importante étude originale ou encore ceux qui résument les travaux antérieurs en citant une importante liste des divers fossiles récoltés avant eux. A ce sujet, la plus récente mise au point, celle de P. MAUBEUGE (1959), est utile bien que, de sa vaste étude bibliographique et de quelques trouvailles personnelles, l'auteur croit pouvoir tirer des conclusions paléogéographiques que j'estime erronées.

Nous ne reprendrons pas ces travaux en détail, mais quelques points inconnus concernant les fossiles animaux et végétaux méritent une mention :

a) Les fossiles végétaux.

Ils sont bien connus depuis la remarquable monographie de W. P. SCHIMPER et A. MOUGEOT (1844); on en retrouve la liste intégrale dans l'ouvrage de A. DAUBRÉE (1852) et dans celui de E. BENECKE (1877, p. 76 et 77). On y ajoutera les travaux de H. HOGARD (1837, p. 230 et 231), ceux de P. FLICHE (1905, 1906, 1908, 1910) et ceux de L. GRAUVOGEL (1947b).

Ces fossiles végétaux ne sont pas abondants dans le Grès à Voltzia supérieur (Grès argileux); en revanche, on les rencontre plus souvent dans le Grès à Meules : d'abord à l'extrême base de cet horizon, immédiatement au-dessus du « Niveau de Brèche dolomitique supérieur » qui couronne les Couches intermédiaires; c'est l'*Horizon à plantes de base*. Au-dessus, sur 1 ou 2 m d'épaisseur, le Grès à Meules a l'allure d'un grès plus grossier, jaune ou beige à mouchetures orangées, difficile à tailler. Les couches à plantes sont inexploitablement, on le sait; on ne s'étonnera donc pas de ce que les

carriers ne « descendent » pas leurs exploitations au-dessous de ces deux niveaux; de ce fait on ne les rencontre qu'exceptionnellement, quand les carrières sont situées à flanc de colline et si les chemins d'accès les abordent par le bas, recoupant ainsi ces formations inférieures non exploitées et généralement cachées. Tout un concours d'heureuses circonstances est, comme on le voit, nécessaire et cela ne s'est produit pour nous que dans onze carrières (sur les 150 étudiées dans le Grès à Voltzia); mais dans ces onze carrières (voir coupes citées p. 99 à 112) « le Niveau à plantes de base », épais de 0,50 m à 1 m, existe et constitue un précieux horizon-repère.

Au-dessus, d'autres couches renferment aussi des végétaux fossiles, sous forme de lentilles ou de bancs; mais la répartition verticale est désordonnée et il n'est pas possible, à quelque niveau que ce soit, de retrouver un horizon-repère. Cependant E. MÜLLER (1954, p. 189) a retrouvé en Sarre un de ces niveaux, réparti verticalement depuis le niveau-médian de la Werksteinzone jusqu'au sommet du deuxième tiers supérieur.

b) Les fossiles animaux.

Leur importance est grande car, marins ou d'eau douce, ils fournissent de précieuses indications d'ordre paléogéographique.

a) Fossiles animaux du Grès à Voltzia inférieur ou Grès à Meules.

Avant tout, nous citerons le *Semionotus alsaticus* découvert en 1889 par W. DEECKE dans le Buntsandstein supérieur de Wasselonne (Bas-Rhin) et attribué plus tard aux Couches intermédiaires supérieures (cf. p. 76). En réalité, il a été recueilli à la base du Grès à Voltzia, dans le « *Zwischenschichtenaenlicher Voltziensandstein* » de E. SCHUMACHER (renseignement oral de M. J. SCHIRARDIN).

Nous signalerons ensuite les *Estheria* qui peuplent les lentilles d'argile du Grès à Meules et qui ne sont pas de très bons indicateurs de la nature du milieu du dépôt puisqu'elles peuvent vivre aussi bien en milieu salin qu'en eau douce.

Nous citerons enfin les fossiles marins découverts jusqu'à ce jour dans ce niveau :

— A. BRACONNIER (1883, p. 110) a signalé dans le Grès bigarré la présence d'un banc de « grès jaunâtre, tendre, très micacé, criblé d'empreintes de *Venus nuda* »; ce banc pourrait, d'après le contexte, être situé vers la base de notre Grès à Meules. Cependant, aucun auteur n'a retrouvé ultérieurement un tel niveau marin dans cette région et A. LIETARD (1888, p. 55) ne manque pas, à juste titre, de s'en étonner. Concluons simplement en disant que cet horizon doit être exceptionnel et pourrait témoigner qu'une influence marine fugace s'est fait sentir à la base du Grès à Voltzia dans la région citée par BRACONNIER.

— E. SCHUMACHER (1891, p. 11) a signalé à Volmunster une couche dolomitique et poreuse située à 12 m au-dessous de la limite supérieure du Buntsandstein et renfermant *Natica gaillardoti*, *Myophoria vulgaris*, *Gervilleia socialis*, *G. costata*, *Pleurotomaria albertiana*; d'après nos connaissances sur cette région, ce gisement serait sans doute situé vers le tiers inférieur du Grès à Meules.

— Vers Phalsbourg, L. GRAUVOGEL (1951c) a découvert dans le tiers inférieur du Grès à Meules un horizon conglomératique à galets dolomitiques renfermant des fossiles marins; d'après leur allure, ces galets avaient dû être arrachés à des couches marines déposées non loin de là. Toujours vers Phalsbourg, le même auteur a découvert des *Limules* dans des lentilles d'argile interstratifiées dans le Grès à Meules.

— P. MAUBEUGE (1959, p. 106) signale avoir trouvé dans la dernière carrière qui fut exploitée à Mervillers (M.-et-M.) « dans une passée irrégulière de grès jaunâtre et blanchâtre, dolomitique, une véritable lumachelle à Lamellibranches indéterminables ». D'après les explications fournies par l'auteur, nous pouvons situer cette lumachelle à 5,40 m au-dessous de la limite Grès argileux/Grès à Meules, c'est-à-dire à environ 11 mètres au-dessus de la limite inférieure du Grès à Voltzia.

— Enfin, à quelques kilomètres à l'W de Bitche, à Schorbach (feuille de Bitche, quart n° 3; 2,3 km SW de Schorbach; x : 968,7; y : 163,85), nous avons découvert dans la partie supérieure du Grès à Meules un niveau à Lamellibranches marins (*Gervilleia*, *Myophoria*) très altérée et spécifiquement indéterminables. C'est d'ailleurs le seul lieu où il m'a été donné de découvrir un niveau fossilifère marin dans le Grès à Meules, malgré une fouille systématique de toutes les carrières de la région.

En Sarre enfin, E. MÜLLER (1954, p. 189) précise que nulle part il ne fut observé de fossiles marins dans la Werksteinzone. Et c'est tout ce qui fut trouvé comme fossiles marins dans le Grès à Meules, à ma connaissance du moins.

Une dernière remarque : c'est seulement dans le N de la Lorraine que furent découverts ces fossiles marins du Grès à Voltzia inférieur; à cette époque en effet, cette région était proche de celle que baignait au NE et à l'E la mer germanique dont nous allons maintenant constater les incursions, de plus en plus fréquentes au fur et à mesure que nous nous rapprochons du Muschelkalk.

β) *Fossiles animaux du Grès à Voltzia supérieur ou Grès argileux.*

Depuis plus d'un siècle, divers auteurs en ont fourni d'abondantes listes; toutefois, dans ces travaux, deux périodes doivent être distinguées :

Première période : les auteurs français et allemands placent dans le Grès bigarré (ou Oberer Buntsandstein) non seulement notre actuel Grès à Voltzia mais encore ce que nous appelons Grès coquillier. En conséquence, dans le Grès bigarré supérieur sont incluses à la fois les couches argilo-gréseuses de notre Grès argileux (ou Lettenregion) et celles de notre Grès coquillier (ou Muschel-sandstein) (cf. tableau XI, p. 66, 3^e colonne). Si bien que, dans leurs listes, ces auteurs mélangent les fossiles du Grès à Voltzia et ceux du Grès coquillier (c'est-à-dire du Muschelkalk inférieur). Ainsi procèdent L. VOLTZ (1836), H. HOGARD (1837, p. 231-232), A. DAUBRÉE (1852, p. 114-116), G. BLEICHER (1887, p. 34), A. LIETARD (1888, pp. 60 à 64 et 66). Cette période s'étend jusque vers la fin du siècle pour les auteurs français.

Cependant pour l'Ecole allemande la deuxième période commence plus tôt : E. BENECKE (1877) adopte la nomenclature et les divisions proposées par E. WEISS en 1869 et sépare nettement la faune recueillie dans le Voltziensandstein (p. 77) de celle récoltée dans le Muschelsandstein (p. 99).

Dorénavant, et à quelque école qu'ils appartiennent, tous les auteurs agiront ainsi et préciseront le niveau de la découverte qu'ils publient.

En dehors des rares exceptions étudiées au paragraphe précédent, la faune du Grès à Voltzia reste cantonnée dans la partie supérieure de cet étage; nous en donnons la liste; dans celle-ci ne figurent que les espèces recueillies sûrement dans le Grès à Voltzia puisque nous excluons celles récoltées dans le Grès coquillier; certaines espèces sont d'ailleurs communes à l'un et à l'autre niveau. Signalons enfin que nous avons marqué d'un signe (+) les faunes marines et d'un signe (×) les faunes continentales.

COELENTERÉS

- × *Gonionemus murbachii* MAYER (Trachyméduse d'eau douce), in L. GRAUVOGEL (1951a).

BRACHIOPODES

- + *Lingula tenuissima* BRONN, in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).

ARTHROPODES

BRANCHIOPODES

- × *Apus antiquus* SCHIMPER, in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).
 × *Estheria minuta* Br., in A. DAUBRÉE (1852) (= *Posidonia minuta* Alberti).
 × + Restes d'ISOPODES, in L. GRAUVOGEL (1947c).

MYSIDACÉS : *Schimperella* (+), in Ph. BILL (1914) et L. GRAUVOGEL (1947c).

DÉCAPODES

- + *Penaeus*, in Ph. BILL (1914) et L. GRAUVOGEL (1947c).
 + *Clytiopsis*, in Ph. BILL (1914) et L. GRAUVOGEL (1947c).
 + *Gebia obscura* H. de Meyer, in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).
 + *Galathea audax* H. de Meyer, in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).
 × *Nombreux insectes*, in L. GRAUVOGEL (1947c).
 Pontes d'insectes à larves aquatiques (Ephémères et Trichoptères);
 Larves aquatiques d'Ephémères, de Plécoptères, de Coléoptères;
 Nymphes de Diptères;
 Ailes d'Homoptères, de Blattoïdes, de Coléoptères, d'Orthoptères, de Phasmides.
 × Restes d'Araignées et de Scorpions, in L. GRAUVOGEL (1947c).
 + XIPHOSURES : *Limulus bronni* Schimper, in A. DAUBRÉE (1852), E. BENECKE (1877) et L. GRAUVOGEL (1947c).
 Halycine, in L. GRAUVOGEL (1947c).

GASTÉROPODES

- + *Natica gaillardoti* Leroy, in A. DAUBRÉE (1852) et nombreux autres auteurs.

LAMELLIBRANCHES

- + *Gervilleia socialis* Wissmann, in E. BENECKE (1877) et nombreux autres auteurs (= *Avicula socialis* Brown, in A. DAUBRÉE (1852).
- + *Gervilleia costata* Quenst., in A. LIETARD (1888).
- + *Modiola recta* Voltz, in A. DAUBRÉE (1852), E. BENECKE (1877) et A. LIETARD (1888).
- + *Myophoria vulgaris* Bronn, in A. DAUBRÉE (1852) et nombreux autres auteurs.
- × *Myacites albertii* Voltz, in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).
- × *Anoplophora fassaensis* Alb. (= *Myacites fassaensis* Winn), in E. BENECKE (1877) et A. LIETARD (1888).
- + *Myoconcha gastrochaena* Dunk, in E. BENECKE (1877) et A. LIETARD (1888).

POISSONS

- + *Acrodus braunii* AGASS. (dents), in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).
- × *Saurichthys* (= *Birgeria*), in Ph. BILL (1914) et F. FIRTION (1934).
- × *Colobobus praemaximus* CORROY, in G. CORROY (1928).
- × *Dipteronotus cyphus* Egerton associés à leurs pontes, in L. GRAUVOGEL (1947).

AMPHIBIENS

- × *Menodon plicatus* H. de Meyer, in E. BENECKE (1877).
- × *Odontosaurus voltzii* H. de Meyer, in L. VOLTZ (1836), A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).
- × *Mastodonsaurus vaslenensis* H. de Meyer, in A. DAUBRÉE (1852) et E. BENECKE (1877).

REPTILES

- × *Nothosaurus schimperi* H. de Meyer, in A. DAUBRÉE (1852).
- × *Cheirotherium* (empreintes de pas), in A. DAUBRÉE (1858) et L. GRAUVOGEL (1947c).
- + *Placodus* (dents), in E. BENECKE (1877).
- + Un squelette presque entier de Sauraptérygien, in L. GRAUVOGEL (1947c).

Ainsi donc, à côté des fossiles d'eau douce figurent des fossiles marins; les premiers sont associés à des grès lie-de-vin, roses, beiges ou blancs, ou à des lentilles d'argile lie-de-vin, grise ou verte; les seconds se rencontrent dans des bancs de grès ocre-rouge ou orangés, piquetés de noir et très poreux. Ces deux types de faciès, associés l'un à une faune marine et l'autre à une faune d'eau douce, sont donc très différents si bien que, même en l'absence de fossiles, il est facile de les distinguer l'un de l'autre. Or, on doit remarquer que, dans sa presque totalité, le Grès à Voltzia (inférieur ou supérieur) présente le faciès qui est celui dans lequel on trouve la faune d'eau douce; dans quelques carrières, intercalés dans ce faciès, quelques bancs offrent le faciès marin et sont associés ou non à une faune de même type. Passons ces carrières en revue depuis le N jusqu'au S des Vosges Gréseuses (tableau XVII, p. 90); pour chacune d'elles nous avons indiqué :

- le nom de la localité où se trouve la carrière;
- le numéro du quart de la feuille au 1/50 000 qui renferme cette localité;
- la distance verticale (en mètres) qui sépare le niveau marin de la limite Grès coquillier/Grès à Voltzia;
- la description rapide du banc de grès à faciès marin qui caractérise cette carrière;
- la référence bibliographique de l'ouvrage où nous avons puisé les renseignements.

Pour la Sarre et la région lorraine attenante, K. STAESCHE (1927), A. SCHAD (1934), H. RÜCKLIN (1934, 1936, 1937) et E. MÜLLER (1954) ont montré que la succession de couches argileuses et sableuses de la Lettenregion est interrompue par des couches dolomitiques d'origine marine renfermant des Lingules, des Myophories, des Esthéries et parfois des Crinoïdes. De son côté, P. MAUBEUGE (1959, p. 102) signale à Longeville-les-Saint-Avoid (Moselle) une carrière de Grès à Voltzia où il a découvert à mi-hauteur du front de taille une lumachelle grossière à nombreux moules internes de *Myophoria* et de *Gervilleia* indéterminables.

Pour notre part, à l'aide du tableau XVIII, nous présentons les carrières où nous avons pu observer un niveau marin intercalé dans les bancs argilo-gréseux continentaux du Grès à Voltzia supérieur; pour chacune d'elles, en plus des indications portées sur le tableau XVII, nous mentionnons les renseignements suivants :

- le numéro d'affleurement de la carrière : on le retrouvera sur la planche II;
- l'indication de la page où se trouve la coupe détaillée de la carrière;
- l'épaisseur du Grès à Voltzia supérieur ou Grès argileux;

- D
- le rapport — dont nous donnons plus loin la signification (p. 92).
- E

TABLEAU XVII
Les niveaux marins du Grès à *Voltzia* des Vosges Gréseuses
(Renseignements tirés de la bibliographie)

Localité	Carte au 1/50 000ème	Quart	Distance sous G C (en m)	Description	Auteurs
Hornbach (entre Zweibrücken et Volmunster)	Walschbronn	6	6	Banc de grès jaune, très poreux, ponctué de brun renfermant des restes indétermi- nables de coquilles marines.	A. SCHAD, 1934, p.7
Phalsbourg	Saverne	1	3	Dolomie sableuse, jaune foncée, piquetée de brun passant à une poudre sableuse avec <i>Myophoria</i> , <i>Gervillea</i> , <i>Naticopsis</i> , <i>Lingula</i> , <i>Terebratula</i> et de petites entroques	E. SCHUMACHER, 1902, p. 87
Phalsbourg	Saverne	1	0,8 à 1	0,30 m de dolomie épaisse et coriace, avec fossiles marins	A. SCHAD, 1934, p. 8
Dannelbourg (SW de Phalsbourg)	Saverne	1	5	Grès à <i>Myophoria</i> et <i>Gervillea</i>	A. SCHUMACHER, 1902 p. 87
Arzviller (SE de Sarrebouurg)	Sarrebouurg	4	sous l'Argile limite	Un banc pulvérulent brun, renfermant des lits dolomitiques avec <i>Lingula</i> et Entroques.	E. SCHUMACHER, 1902 p. 87
Wasselonne (la Papeterie)	Saverne	7	?	Banc à <i>Limulus bronni</i> , <i>Apus antiquus</i> et <i>Estheria alberti</i> .	W.P. SCHIMPER, 1850
			?	Banc à <i>Clytiopsis</i> , <i>Schimperella</i> , <i>Estheria</i> et <i>Limulus bronni</i> .	Ph. BILL, 1914, p. 292
Soultz-les- Bains	Molsheim	4	?	Banc à <i>Natica gaillardoti</i> .	W.P. SCHIMPER, 1850
			?	Banc à <i>Gebia obscura</i> et <i>Galathea audax</i> .	H. von MEYER, 1834 in Ph. BILL, 1914, p. 289
			?	Banc à <i>Estheria</i> , <i>Myophoria</i> , <i>Lingula</i> et restes de Poissons.	Ph. BILL, 1914, p.292
Gresswiller	Molsheim	3	?	Banc à <i>Limulus bronni</i> , <i>Lingula</i> , <i>Estheria</i> et Décapodes	Ph. BILL, 1914, p.292 et 293
Bréménil	Cirey/ Vezouse	1	2,30	Banc de grès de 0,50 m d'épaisseur et renfermant à la base <i>Gervillia</i> , <i>Myophoria vulgaris</i> .	E. KRAUS, 1925, p.208 Tabl. IV, fig. 11
Badonviller	Cirey/ Vezouse	5	10 (!)	Petit banc dolomitique qui renferme <i>Myophories</i> , <i>Gervillies</i> et restes de plantes	F. FORCHE, 1935, p.36
Jeuxy (E d'Epinal)	Bruyères		?	Banc de grès dolomitique brun-jaune craquelé de débris de Lamellibranches.	P. MAUBEUGE, 1959, p. 103
			?	Banc lumachelique avec <i>Modiola</i> , <i>Natica</i> <i>gaillardoti</i> , <i>Myophoria</i> , <i>Anoplophora</i> , <i>Chemnitzia</i> , <i>Entolium</i> et <i>Modiola</i> .	
Entre Plombières et le Val d'Ajol	Plombières	8	8 (?)	Minces plaquettes de grès ocreux à débris roulés de <i>Myophoria vulgaris</i> , <i>Natica gaillardoti</i> , <i>Gervillea socialis</i> .	A. LIETARD, 1888 p. 66
Darney	Vittel	8	3 à 3,5	Banc à <i>Myophories</i> et <i>Gervillies</i>	F. FORCHE, 1935, p. 36

TABLEAU XVIII

Carrières où le Grès à *Voltzia* renferme des niveaux marins
(Observations personnelles)

Localité	Carte	Quart	n° Affl.	page de la coupe	Distance sous GC (en m) = D	Épaisseur du Grès argileux en m (=E)	Rap. D/E	Description
Waldhambach	Bouxwiller	1	1	A 2	2,10	4,00	1/2	0,20 m de grès ocre-rouge très poreux avec Lamellibranches (<i>Gerulileta</i> , <i>Myophoria</i>).
Adamswiller	Bouxwiller	1	3	A 3	1,60	4,60	1/3	0,60 m de grès et de sable brun-rouge piquetés de noir à Lamellibranches.
Ottwiller	Bouxwiller	5	16	A 5	4,75	5,00	9/10	0,15 m de grès ocre-jaune, piqueté de brun et de noir, poreux, fossilifère.
Lohr	Bouxwiller	5	17	A 6	4,50	5,60	4/5	0,60 m de grès jaune-orangé piqueté de noir, poreux, calcaireux, fossilifère.
Bust	Bouxwiller	5	22	A 7	3,45 1,95 0,70	7,00	1/2 1/3 1/10	0,20 m de grès orangé à points noirs, quelques <i>Myophoria</i> et <i>Gerulileta</i> . idem idem, mais sans fossiles.
Hangviller	Bouxwiller	5	24	A 8	2,50	4,80	1/2	0,50 m de grès ocre-rouge piqueté de noir, calcaireux, tendre et poreux, contenant quelques moules internes de Lamellibranches.
Vilsberg (NW de Phalsbourg)	Bouxwiller	5	25	A 9	3,20 1,50	4,40	3/4 1/3	0,55 m : banc de grès, dur, calcaireux, poreux, jaune foncé, moucheté de noir et fossilifère. 0,70 m de bancs alternativement durs et tendres de grès beige, jaune ou brun-jaunâtre, piqueté de noir, calcaireux et fossilifère : <i>Natica</i> , <i>Gerulileta</i> , <i>Myophoria</i> et <i>Modiola</i> .
Phalsbourg (Buchelberg)	Bouxwiller	5	26	A 10	1,40 0,85	4,70	1/3 1/5	0,40 m de grès brun-jaune piqueté de brun-rouge en petits bancs. 0,10 m idem
Phalsbourg (route de Lutzelbourg)	Saverne	1	6	A 15	2,80	3,80		0,70 m grès ocre-rouge à brun, piqueté de noir, très fossilifère (nombreux moules internes de Lamellibranches).
Wasselonne (La Papeterie)	Saverne	7	18	A 19	4,00	7,80	1/2	0,50 m grès brun-jaunâtre à "faciès marin" mais sans fossiles.
Rambervillers	Rambervillers	2	3	A 28	2,20	4,40	1/2	0,30 m grès brun-rouge foncé, piqueté de noir, fossilifère.
Jeuxy (E d'Épinal)	Bruyères	1	1	A 31	7,80	11,00	entre 2/3 et 3/4	0,60 m de grès brun-rouge, piqueté de noir, renfermant <i>Gerulileta</i> , <i>Myophoria</i> , <i>Natica</i> .
Saint-Germain (NE de Lure)	Giromagny	5	4	A 38	5,10	5,20	9/10	0,50 m de grès brun-chocolat, fossilifère, à nombreuses cavités renfermant une poudre ocre (Fe_2O_3) ou noire (MnO_2).

Notons enfin que, par ordre de fréquence, les fossiles recueillis étaient *Gervilleia*, *Myophoria*, *Modiola* et *Natica*.

A partir d'observations similaires effectuées en Sarre, K. STAESCHE (1927) avait cru pouvoir distinguer trois horizons fossilifères situés respectivement à 12 m, à 6-7 m et à quelques décimètres au-dessous de la limite supérieure du Buntsandstein. Mais ni A. SCHAD (1934), ni F. FORCHE (1935) ne sont de cet avis et l'examen des tableaux XVII et XVIII montre que les niveaux marins fossilifères sont répartis à des distances variables sous cette limite. FORCHE s'en étonne et trouve curieux (1935, pp. 36-37) qu'une invasion marine, même fugace, ne soit pas marquée au même moment par un même banc s'étendant sur une grande surface et il proposa l'explication suivante : la région du Grès à Voltzia était une zone d'estuaires peu profonds, mal pourvue en matières nutritives et où ne pouvait vivre qu'une faune pauvre, de place en place, parmi les prèles.

Cette explication a peut-être du bon, mais je n'y crois guère et je lui préfère celle de K. STAESCHE que je modifie en la précisant : si l'on considère que, d'un lieu à un autre, le Grès argileux présente de grandes variations d'épaisseur dûes, en partie, aux irrégularités de la surface topographique au moment du dépôt (cf. pp. 93 et 94), on conçoit que la distance qui sépare un niveau marin de la limite supérieure du Buntsandstein ne correspond à rien en elle-même et ne peut pas être comparée à une autre distance mesurée dans les mêmes conditions dans une autre carrière; à cette simple mesure de distance j'ai donc substitué le rapport suivant :

$$\frac{D}{E} = \frac{\text{Distance qui sépare le niveau marin de la limite supérieure du Buntsandstein}}{\text{Épaisseur totale du Grès argileux}}$$

On s'aperçoit alors que les horizons marins du Grès argileux sont répartis en trois niveaux principaux qui sont situés successivement :

- au tiers supérieur;
- à la moitié (ce sont les plus nombreux);
- dans une région comprise entre le tiers et le cinquième inférieurs de ce Grès argileux.

c) Conclusions à l'étude des fossiles du Grès à Voltzia.

α) Tous les végétaux et un grand nombre d'animaux sont représentés par des formes continentales.

— La flore est palustre ou fluviatile (*Aethophyllum*, *Schizoneura*, *Equisetum*); ou terrestre (*Voltzia*, *Albertsia*, Fougères, *Yuccites*).

— La faune continentale est essentiellement dulçaquicole, caractéristique de cours d'eau tranquilles ou de lacs : Méduses, Crustacés et Poissons d'eau douce, Amphibiens, larves et nymphes aquatiques d'Insectes; mais elle offre aussi des représentants terrestres : Reptiles, Insectes parfaits, Araignées et Scorpions.

Tous ces fossiles continentaux sont associés à des grès et des argiles qui ont le faciès caractéristique du Grès à Voltzia tel qu'on l'observe et le décrit généralement.

β) Quelques fossiles animaux sont marins : leur nombre est peu élevé malgré les listes importantes qu'en ont fournies les anciens auteurs qui confondaient en une même formation notre Grès à Voltzia et notre Grès coquillier. Ces fossiles sont généralement cantonnés dans la partie supérieure du Grès à Voltzia (Grès argileux ou Lettenregion) et, là, ils sont rassemblés en quelques rares bancs dont le faciès très particulier est facile à distinguer du faciès classique sus ou sous-jacent qui, lui, renferme flore et faune continentales : ils se traduisent en effet par un grès ocre-rouge à brun-rouge piqueté ou taché de noir, poreux et parfois calcareux. On rencontre un ou deux de ces bancs en un certain nombre de carrières : fréquemment dans le nord de la Lorraine et de l'Alsace, beaucoup moins dans la partie centrale de ces deux provinces et plus du tout dans le sud. Intercalés dans des grès à faciès continental, ces bancs sont les témoins d'invasions marines fugaces qui déferlèrent sur un continent très plat, recouvert par les cours d'eau divagants, les lacs et les marais dont la faune, qui vient d'être évoquée, contraste par sa richesse (GRAUVOGEL, 1947, 1951, 1952) avec la pauvreté de la faune marine; celle-ci en effet ne renferme guère d'autre forme que *Natica*, *Gervilleia*, *Modiola*, *Myophoria* et, plus rarement *Lingula* : dans cette faune pauvre en espèces, mais riche en individus capables de subir de fortes variations de salinité, nous retrouvons le type même des faunes peuplant ces milieux aquatiques résiduels plus ou moins fermés, sursalés ou saumâtres, nommés communément « lagunes » et qui se trouvent situés en marge du domaine continental et du domaine marin. On pourra évidemment objecter les dents, découvertes à Wasselonne et à Soultz, du Poisson *Acrodus* qui, lui, est un marin de haute mer. Certes, mais outre que la découverte fut exceptionnelle, ne pourrait-on penser que ce Sélacien pourrait avoir pénétré dans une lagune et, que n'en pouvant ressortir, il y serait

mort par suite des mauvaises conditions de vie, puis s'y serait fossilisé, trouvant dans ce milieu un terrain idéal de conservation. Ce genre de drame dans la vie d'un poisson, G. CORROY (1928) l'avait déjà évoqué pour son *Colobodius praemaximus*, forme marine littorale qui avait pu vivre en compagnie de *Saurichthys* tels celui que Ph. BILL découvrit dans les carrières de Wasselonne (1914) et que F. FIRTION décrivit (1934).

9° Limite supérieure du Grès à Voltzia.

Cette limite supérieure du Grès à Voltzia n'est pas de celles qui « sautent aux yeux »; en témoignent les confusions, erreurs et discussions qui se sont multipliées à son égard. Il est certain qu'en face d'une carrière où le Grès à Voltzia est couronné par le Grès coquillier (Soultz, Was-selonne, Phalsbourg, Hangwiller, etc...) la limite qui frappe l'observateur est celle qui sépare le Grès à Meules du Grès argileux; c'est ce qui avait conduit les anciens auteurs à couper en cet endroit le « Grès bigarré » en deux parties (cf. p. 66, tableau XI, 3^e colonne). Mais dans le « Grès bigarré supérieur » ils plaçaient non seulement notre Grès argileux mais aussi notre Grès coquillier, car « entre ces assises, il y a une transition invisible » (A. LIETARD, 1888, p. 65).

C'est E. WEISS (1869a, p. 216) qui extrait définitivement le Muschelsandstein du Grès à Voltzia en faisant passer entre ces deux horizons la limite entre Buntsandstein et Muschelkalk.

Mais s'il existe réellement une « transition invisible » entre ces deux formations, sur quoi se fondent les divers auteurs et sur quoi nous fondons-nous pour tracer cette limite avec précision, sur le terrain ou en forage ? La réponse réside dans les coupes des carrières qui traversent à la fois le Grès à Voltzia et le Grès coquillier : ce sont les carrières que nous décrivons de la page 99 à la page 112 et qui portent les numéros 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 27, 28, 36, 37, 38, 39 et, éventuellement aussi, les carrières qui portent les numéros 7, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 30, 32, 33. En somme dans la succession des bancs argilo-gréseux du sommet du Grès argileux, il s'agit de découvrir celui qui pourra être appelé « *Argile-Limite* »; plusieurs critères vont nous guider :

— le banc dit « *Argile-Limite* » est souvent plus épais que les autres bancs d'argile; il peut mesurer jusqu'à deux mètres d'épaisseur; au-dessous, les grès présentent la coloration lie-de-vin ou grise classique, tandis qu'au-dessus les grès sont ocre-jaune ou ocre-rouge ou encore brun-rouge, piquetés de noir ou de brun, parfois calcareux, poreux et fossilifères (coupes n^{os} 16, 17, 19, 20, 22, 26, 30, 38, 39);

— si, au sommet du Grès argileux, aucun banc d'argile ne se détache des autres par une épaisseur particulièrement marquée, il convient de placer la limite entre Buntsandstein et Muschelkalk à la base du complexe constitué uniquement par des bancs de Grès coquillier typique (cf. coupes n^{os} 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 14, 15, 21, 27, 28, 37);

— dans tous les cas, l'erreur à éviter est de placer trop bas cette limite, au-dessous par exemple d'un de ces bancs à fossiles marins et faciès « Grès coquillier » inclus dans le Grès argileux et témoins d'une incursion marine fugace. Pour lever l'incertitude, il convient de poursuivre la coupe vers le haut : si le faciès du Grès argileux réapparaît au-dessus du banc marin, c'est que la limite a été placée trop bas; le faciès du Grès argileux, qui est le faciès d'un grès continental, n'existe en effet plus jamais dans le Grès coquillier.

Cette limite supérieure du Buntsandstein constitue une limite paléontologique : la faune du Grès à Voltzia est continentale (terrestre ou d'eau douce) ou — très rarement d'ailleurs — laguno-marine et pauvre en espèces (p. 92); celle du Grès coquillier est une riche faune marine.

La limite supérieure du Buntsandstein constitue une limite de faciès : au-dessous, ce sont les faciès du Grès à Voltzia tels que nous les avons décrits; au-dessus c'est le faciès du Grès coquillier que nous avons évoqué et que nous décrivons plus loin (p. 95).

Limite paléontologique et limite de faciès sont étroitement confondues.

Mais la limite supérieure du Buntsandstein n'est pas une limite de temps; R. BRINKMANN (1926), A. SCHAD (1934) et F. FORCHE (1935) ont montré que la mer du Muschelkalk est venue de l'E et s'est avancée progressivement vers l'W, si bien que la limite supérieure du Buntsandstein est plus vieille à l'E qu'à l'W; elle est donc imparfaite; mais avant qu'on puisse établir avec certitude des divisions chronostratigraphiques dans ces formations, force nous est d'accepter cette limite telle quelle.

10° Epaisseur du Grès à Voltzia.

Ainsi encadré, le Grès à Voltzia peut être mesuré avec une très grande précision, à condition cependant de bénéficier de carrières qui offrent à la fois les deux limites, inférieure et supérieure, de

cette formation; malheureusement de telles carrières sont rares; nous en citons neuf (p. 99 à A 36) qui portent les nos 2, 8, 11, 12, 13, 14, 22, 29, 36.

L'épaisseur du Grès à Voltzia est très variable : pour s'en convaincre, il suffit de regarder la planche I où nous avons placé côte à côte les coupes figurées de quelques carrières de Grès à Voltzia; la puissance de cette formation varie entre deux extrêmes qui sont de 26 m à Soultz-les-Bains et de 6 à 7 m en divers lieux; la puissance moyenne la plus générale est de l'ordre de 15 à 16 m.

Ainsi que l'a montré E. MÜLLER en Sarre (1954b, p. 191), les variations de puissance dans le Grès à Voltzia se font proportionnellement plus aux dépens de la « Lettenregion » qu'à ceux de la « Werksteinzone » et s'expriment donc plus clairement dans la première que dans la seconde; aussi cet auteur a pu construire la carte des isopaques de la Lettenregion; il s'est alors aperçu que ces courbes reflétaient l'image paléogéographique de l'aire de sédimentation et que les seuils et bassins triasiques ainsi découverts coïncidaient souvent avec des structures visibles du sous-sol : c'est ainsi que la Lettenregion s'amincit aux approches de l'anticlinal de Sarrebrück, puis disparaît complètement à son niveau. L'intérêt de cette méthode, c'est qu'elle permet par la même occasion de mettre en évidence des structures secondaires qui n'apparaîtraient pas autrement; E. MÜLLER découvre ainsi des seuils et des bassins secondaires qui se détachent fort bien sur sa carte (carte 3, hors texte).

A notre tour, nous avons dressé pour les Vosges Gréseuses une carte des isopaques du Grès argileux (pl. II); en outre des seuils et des bassins de seconde importance, elle met en évidence l'existence, à l'époque du Grès à Voltzia supérieur, d'un SEUIL VOSGIEN sur lequel le Grès argileux ne s'est vraisemblablement jamais déposé et qui était flanqué par deux bassins de sédimentation, un lorrain à l'W et un alsacien à l'E; nous discutons largement cette question plus loin (pp. 191-195).

11° Conclusion à l'étude du Grès à Voltzia.

— *Le Grès à Voltzia inférieur ou Grès à Meules* débute par un **Horizon à plantes** : grès jaune, taché de rouille, avec de très nombreux restes de plantes souvent carbonisées : fragments de troncs d'*Equisetites* et de frondes de Fougères auxquels viennent se joindre quelques restes de *Voltzia*. Cet horizon à plantes est épais de 0,5 à 1 m et s'observe partout. D'autres horizons à plantes existent dans le Grès à Voltzia mais ils n'offrent pas la constance remarquable de cet horizon basal.

Au-dessus vient le *Grès à Meules* proprement dit, exploité comme pierres de construction dans de très nombreuses carrières (Werksteinzone des auteurs allemands) : bancs épais de 1 à 4 m, séparés par des joints argileux verdâtres très minces (quelques millimètres à quelques centimètres). Des lentilles d'argile apparaissent de temps à autre, témoins d'anciens cours d'eau.

La couleur est variable : souvent jaune-orangé à la base et tachés de rouille, ces grès s'éclaircissent ensuite et sont généralement gris-jaunâtre, gris-rosâtre ou gris-blanchâtre.

Dans le *Grès à Voltzia supérieur ou Grès argileux* (Lettenregion des auteurs allemands), apparaissent des bancs argileux très réguliers; c'est au premier de ces bancs qu'on fait habituellement débiter ce « Grès argileux » qui est constitué par une alternance de bancs gréseux (gris-blanchâtre à la base, souvent lie-de-vin au sommet) et de bancs d'argiles souvent lie-de-vin ou vertes, parfois grises.

Cette assise s'achève par un banc argileux, de 0,5 à 2 m d'épaisseur, appelé « *Argile-Limite* », au-dessus duquel apparaît le *Grès coquillier* de la base du Muschelkalk (Muschelsandstein des auteurs allemands).

Par sa teneur en feldspath, le Grès à Voltzia est une *arkose*; le mica est rassemblé en lits qui soulignent les joints entre bancs.

La finesse du grain est remarquable.

La stratification est de plus en plus tranquille au fur et à mesure qu'on s'élève dans la série; elle tranche par cette tranquillité sur celle observée dans les formations précédentes.

Dans sa partie supérieure surtout, le Grès à Voltzia présente de grandes variations de puissance; à l'aide d'une carte des isopaques du Grès argileux, ce phénomène nous a permis de reconstituer la paléogéographie de la région à la fin du Buntsandstein (pp. 191-195 et 201-202).

Parmi les fossiles découverts jusqu'à ce jour, une importante flore palustre ou terrestre associée à une riche faune d'eau douce ont été citées; plus spécialement dans le N de notre province, il s'y adjoint une faune marine, pauvre en espèces mais riche en individus, capable de supporter de fortes variations de salinité; surtout cantonnée dans le Grès à Voltzia supérieur elle témoigne des premières incursions marines annonciatrices de la mer du Muschelkalk.

CHAPITRE III

LE GRÈS COQUILLIER, BASE DU MUSCHELKALK INFÉRIEUR

Bien qu'il ne fasse plus partie du Buntsandstein, nous en dirons cependant un mot. En effet il semble couronner la série gréseuse du Buntsandstein dans laquelle il fut longtemps rangé sous le nom de « *Grès bigarré supérieur* » (cf. tableau XI, p. 66).

A. — SYNONYMIE

Nommé *Muschelsandstein* par E. WEISS (1869a, p. 216) et séparé du Buntsandstein, ce « Grès coquillier » (A. DE LAPPARENT, 1883, p. 801) est plus connu en Lorraine sous l'appellation « Grès du Ruau » (A. LIETARD, 1888, p. 59; G. CORROY, 1928), encore que ce dernier terme convienne moins que le précédent : à Ruau en effet (localité située à 4 km à l'W de Plombières-les-Bains), seul l'extrême base de cette formation affleure, et ce dans des carrières totalement éboulées qu'il est actuellement très difficile, voire impossible, d'étudier. Dans le choix d'une localité-type de ce Grès coquillier, la région de Phalsbourg convient mieux car quelques carrières sont encore exploitées et cet horizon y affleure bien.

B. — CARACTERISTIQUE DU GRES COQUILLIER

Elles apparaissent dans les coupes citées plus loin (pp. 99 à 112): c'est un grès dont la couleur s'étend de l'ocre-jaune au brun-rouge en passant par l'ocre-rouge; il est piqueté ou tacheté de noir ou de brun, poreux et très souvent calcaire; quand on s'élève dans la série, ce grès calcaire est plus ou moins remplacé par un calcaire gréseux ou par un calcaire dolomitique à surface ondulée. On peut le trouver aussi sous la forme d'un grès lie-de-vin, tacheté de brun, souvent calcaire.

Mais le caractère primordial est la présence d'une **abondante faune marine**, dont on pourra consulter la liste dans diverses publications; A. DAUBRÉE (1852, pp. 114 à 116) qui cite sans distinction tous les fossiles découverts dans le Grès bigarré supérieur, c'est-à-dire ceux de notre Grès coquillier comme ceux du Grès argileux du Buntsandstein supérieur: E. BENECKE (1877) qui observe bien cette distinction et ne cite, dans les pages 589 et 590, que les fossiles du Muschelkalk inférieur; G. BLEICHER (1887, p. 34) dont les fossiles cités à propos du Grès bigarré proviennent manifestement du Grès coquillier; A. LIETARD (1888, pp. 60 à 64) qui fournit une liste révisée de la faune du Grès de Ruau et cite toutes les synonymies.

Cette faune est franchement marine; elle est infiniment plus variée et plus complète que celle qui était apparue sporadiquement dans le Grès à Voltzia; elle indique aussi une profondeur plus grande de la mer qui s'installe dorénavant de façon définitive.

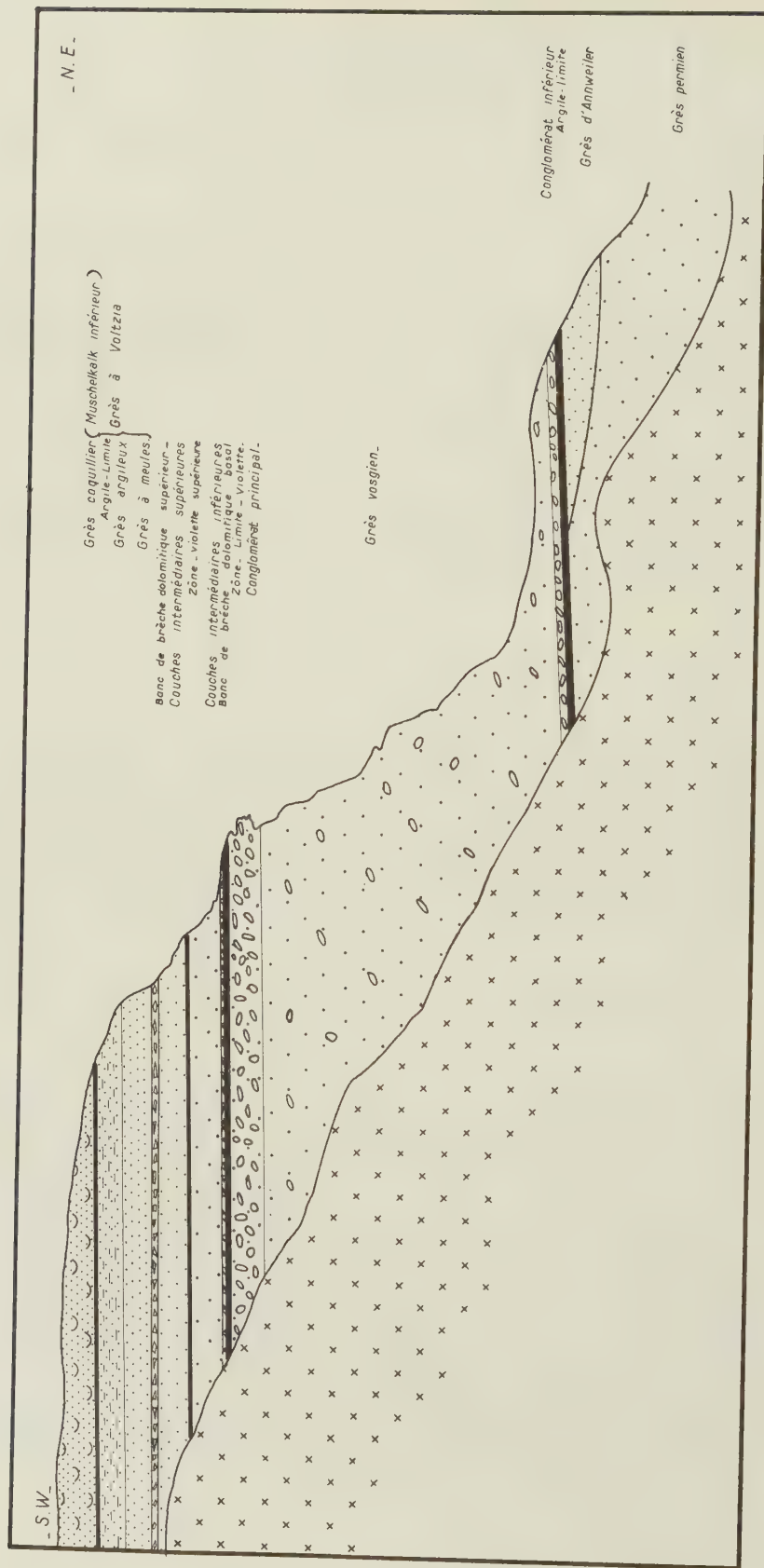


Fig. 9. — Coupe schématique générale des formations gréseuses des Vosges

CONCLUSION GÉNÉRALE

A L'ÉTUDE STRATIGRAPHIQUE DES VOSGES GRÉSEUSES

Une conclusion ayant couronné chaque paragraphe, il ne semble pas nécessaire de nous répéter; cependant nous avons jugé utile de résumer les principaux caractères de cette étude stratigraphique : nous les présentons sous la forme du tableau XIX et de la figure 9.

CHAPITRE ANNEXE

COUPES DES PRINCIPALES CARRIÈRES DE GRÈS A VOLTZIA

1. **Carrière de Hottviller** (feuille de Bitche, quart n° 2; affleurement n° 6; 1,1 km SE de l'église; x : 967,5; y : 164,05).

— *Grès coquillier.*

- 0,30 m : grès ocreux, clair, dur;
- 0,30 m : sable ocreux;
- 0,20 m : grès ocreux foncé;
- 0,50 m : argile verte et beige;
- 0,30 m : grès ocreux.

— *Grès argileux* (1,20 m).

- 0,80 m : *Argile-Limite*, lie-de-vin et verte;
- 0,20 m : grès beige;
- 0,20 m : argile lie-de-vin.

— *Grès à meules.*

- 1,00 m : 3 bancs de grès lie-de-vin séparés par de très minces lits argileux;
 - 2,50 m : grès beige, légèrement calcaire;
 - 2,00 m : grès lie-de-vin, légèrement calcaire; à la base le grès est légèrement ocreux;
 - 7,00 m : grès lie-de-vin, légèrement calcaire.
- Base de la carrière.

2. **Carrière de Waldhambach (lieudit Rehmuhle)** (feuille de Bouxwiller, quart n° 1; affleurement n° 1; 1,5 km W de l'église; x : 955,8; y : 149,8).

— *Grès coquillier.*

— *Grès argileux* (4 m).

- 2,00 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
- 0,20 m : *Niveau fossilifère*; grès ocreux, poreux, à Myophories et Gervillies;
- 0,10 m : argile lie-de-vin;
- 0,50 m : grès lie-de-vin foncé et jaunâtre;
- 1,20 m : argiles bariolées comportant quelques fins lits gréseux.

— *Grès à meules* (12,75 m).

- 3,60 m : grès beige en bancs de 0,5 à 1 m d'épaisseur;

— surface d'émersion mamelonnée; nombreux ripple-marks;

- 1,00 m : grès beige en bancs de 0,20 à 0,30 m d'épaisseur;

— surface d'émersion mamelonnée; nombreux ripple-marks;

- 1,00 m : grès beige en bancs de 0,20 à 0,30 m d'épaisseur;

0,30 m : grès à plantes (*Equisetites*); nombreux galets d'argile à la base du banc, remaniés de la couche sous-jacente;

- 0,10 m : banc argilo-gréseux, feuilleté et micacé;

0,60 m : grès gris-beige;

1,30 m : *Idem*;

1,30 m : grès gris qui renferme à son sommet et en son milieu des niveaux de grès jaunâtre à nombreux restes de végétaux;

- 0,50 m : grès gris en bancs de 0,10 m d'épaisseur;

1,00 m : grès gris beige en deux bancs de 0,50 m d'épaisseur;

1,00 m : grès gris;

- 0,05 m : petit lit d'argile grise;
 0,80 m : *niveau à plantes de base* : grès beige-jaunâtre, à grain grossier; nombreux restes de végétaux oxydés et ferrugineux;
- *Couches intermédiaires supérieures.*
 0,20 m : *Niveau bréchique dolomitique*;
 0,30 m : grès lie-de-vin, feldspathique, micacé.
 Base de la carrière.
3. **Carrière d'Adamswiller** (feuille de Bouxwiller, quart n° 1; affleurement n° 3; 1,0 km NE de l'église; *x* : 956,7; *y* : 146,05).
- *Grès coquillier.*
 2,50 m : alternance de lits d'argile et de petits bancs de grès ocre-jaune piqueté de noir, calcaireux et fossilifère.
- *Grès argileux* (4,60 m).
 0,20 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
 0,20 m : grès rose;
 0,20 m : argile lie-de-vin;
 0,50 m : grès gris, calcaireux qui passe insensiblement à l'assise sous-jacente;
 0,60 m : *niveau fossilifère* : sable et grès brun-rouge, piqueté de noir, contenant des moules internes de Lamellibranches;
 0,20 m : grès brun foncé;
 0,80 m : argile lie-de-vin;
 1,50 m : grès rouge, lie-de-vin, calcaireux;
 0,50 m : argile lie-de-vin et grise, en feuillets;
- *Grès à meules.*
 6,00 m : grès rose en trois bancs massifs de 2 m d'épaisseur;
 6,00 m : grès blanc, en trois bancs massifs de 2 m d'épaisseur;
 2,00 m : grès blanc passant vers le bas à un grès beige, taché de jaune et renfermant un niveau à plantes.
 Base de la carrière.
4. **Carrière d'Ottwiller** (feuille de Bouxwiller, quart n° 5; affleurement n° 16; 1,0 km W de l'église; *x* : 958,0; *y* : 140,7).
- *Grès coquillier.*
 2,00 m : alternance de bancs de grès ocre-jaune foncé, fossilifère (Myophories, Gastéropodes) et de lits d'argile gréseuse de même couleur.
- *Grès argileux* (5,45 m).
 0,15 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
 1,00 m : grès versicolore lie-de-vin et gris clair;
 3,00 m : grès gris clair (sommet) ou lie-de-vin foncé (base);
 0,30 m : grès gris-beige clair;
 1,10 m : très nombreux et très petits bancs d'argile gréseuse gris-verdâtre.
- *Grès à meules.*
 0,40 m : *grès ocre-jaune, piqueté de noir, poreux, calcaireux et fossilifère*;
 3,00 m : grès gris;
 2,50 m : grès gris;
 2,50 m : grès gris tacheté de jaune;
 Base de la carrière.
5. **Carrière d'Ottwiller** (feuille de Bouxwiller, quart n° 5; affleurement n° 16, 1,1 km W de l'église; *x* : 957,85; *y* : 140,8).
- *Grès coquillier.*
 2,00 m : alternance de bancs de grès ocre-rouge fossilifère et de bancs d'argile;
 0,60 m : grès ocre-jaune calcaireux et fossilifère (Myophories, Gastéropodes);
 1,00 m : argile gris-jaune;
 0,60 m : grès orangé, piqueté de noir, dur, fossilifère;
 0,20 m : grès brun-noir, tendre, fossilifère;
 0,15 m : grès orangé, piqueté de noir, dur, calcaireux;
 0,55 m : sable orangé, piqueté de noir, nombreuses Myophories;
 0,10 m : grès dur, orangé, piqueté de noir, nombreuses Myophories.
- *Grès argileux* (5 m).
 0,40 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
 1,00 m : grès gris-beige clair en bancs de 10 cm;
 1,50 m : grès gris foncé en bancs de 50 cm;
 1,00 m : grès gris-beige massif;
 0,10 m : argile gréseuse gris-verdâtre en feuillets;

- 0,60 m : grès jaune-orangé;
- 0,15 m : *niveau coquillier* : grès ocre-jaune piqué de brun et de noir, poreux et fossilifère;
- 0,25 m : argile verdâtre.

— *Grès à meules.*

- 2,70 m : grès gris, massif;
 - 3,00 m : grès lie-de-vin, massif.
- Base de la carrière.

6. Carrière de Lohr (feuille de Bouxwiller, quart n° 5; affleurement n° 17; 0,7 km S de l'église; x : 959,9; y : 139,9).

— *Grès coquillier* : il peut s'observer sous forme de pierres dans les champs.

— *Grès argileux* (5 m).

- 0,80 m : partie éboulée, très argileuse;
- 0,20 m : grès beige;
- 0,80 m : argile lie-de-vin, en feuillets;
- 0,40 m : grès lie-de-vin en petits bancs;
- 1,20 m : grès gris, massif;
- 0,30 m : argile lie-de-vin en feuillets.
- 0,20 m : grès gris, pistes et traces d'animaux à la base;
- 0,60 m : *niveau fossilifère* : grès jaune-orangé, piqué de noir, poreux, calcaireux, à moules internes de Lamellibranches;
- 0,30 m : argile gris-verdâtre, en feuillets;
- 0,35 m : grès sableux, jaune-orangé, piqué de noir, mais sans fossiles;
- 0,45 m : argile feuilletée, lie-de-vin.

— *Grès à meules.*

- 5,00 m : grès gris-clair à gris-beige, massif;
 - 0,00 m à 1,50 m : lentille d'argile que l'on retrouve dans les carrières voisines (ancien cours d'eau);
 - 2,20 m : grès gris-beige.
- Base de la carrière.

7. Carrière de Bust (feuille de Bouxwiller, quart n° 5; affleurement n° 22; 1,1 km SE de l'église; x : 960,9; y : 136,1).

— *Grès coquillier.*

- 0,30 m : grès coquillier, ocre foncé, très dur;
- 0,40 m : grès coquillier, ocre foncé, dur, calcaireux.

— *Grès argileux* (7 m).

- 0,30 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
- 0,40 m : grès orangé, piqué de noir, non fossilifère, en deux bancs de 0,20 m;
- 0,85 m : grès gris-rosé en banc de 0,20 m;
- 0,25 m : argile lie-de-vin en feuillets;
- 0,15 m : *niveau fossilifère* : grès ocre-jaune, piqué de noir, à Lamellibranches;
- 0,20 m : argile lie-de-vin en feuillets;
- 1,10 m : grès lie-de-vin taché de brun, très dur, formant surplomb;
- 0,20 m : *niveau fossilifère* : grès orangé piqué de noir, à Myophories et Gervillies;
- 1,50 m : alternance de petits bancs de grès et d'argile lie-de-vin;
- 0,30 m : grès lie-de-vin;
- 0,50 m : argile grise en feuillets;
- 0,70 m : grès lie-de-vin, dur;
- 0,55 m : argile lie-de-vin en feuillets très minces.

— *Grès à meules.*

- 1,20 m : grès lie-de-vin foncé, dur et massif;
 - 0,20 m : lentille d'argile verte;
 - 0,20 m : grès lie-de-vin;
 - 0,20 m : lentille d'argile verte;
 - 2,50 m : grès lie-de-vin foncé, massif;
 - 4,00 m : grès gris-blanchâtre, dur et massif.
- Base de la carrière.

8. Carrière de Hangviller (feuille de Bouxwiller, affleurement n° 24; quart n° 5; 0,6 km SE de l'église; x : 960,0; y : 134,75).

— *Grès coquillier.*

- 2,00 m : alternance de petits bancs de marnes et de grès coquillier ocre foncé, calcaro-dolomitique;
- 1,50 m : grès-dolomitique orangé, piqué de noir, en bancs de 10 à 20 cm; analyse chimique citée p. 85 (éch. 4);
- 1,50 m : calcaire dolomitique, coquillier, brun-jaune.

- *Grès argileux* (4,80 m).
 - 0,20 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
 - 1,30 m : grès beige, massif;
 - 0,50 m : alternance de petits bancs d'argile lie-de-vin en feuillets, de sable ocre-rouge et de grès gris;
 - 0,50 m : *niveau coquillier*; grès ocre-rouge, piqueté de noir, calcaireux, tendre et poreux, contenant quelques moules internes de Lamellibranches; analyse chimique citée p. 85 (éch. 3);
 - 1,20 m : alternance de petits bancs de grès lie-de-vin et d'argile lie-de-vin en feuillets;
 - 0,80 m : petits bancs de grès lie-de-vin; analyse chimique citée p. 85 (éch. 2);
 - 0,30 m : argile lie-de-vin en feuillets.
- *Grès à meules* (12 m environ).
 - 5,80 m : grès gris foncé en trois bancs massifs; analyse chimique citée p. 85 (éch. 1);
 - 0,10 m : niveau bréchique, calcaireux, renfermant de nombreuses plantes;
 - 2,80 m : grès gris;
- *Grès argileux* (4,40 m).
 - 0,80 m : *niveau-Limite* constitué par une alternance de lits d'argile grise, feuilletée et de petits bancs de grès gris;
 - 2,20 m : grès gris passant vers la base à un grès lie-de-vin taché de brun;
 - 0,50 à 1,50 m : *niveau à plantes de base* : grès jaunâtre à nombreux restes de végétaux; la surface supérieure de ce niveau est très irrégulière et constitue le point de départ de l'exploitation.
- *Couches intermédiaires supérieures*.
 - 0,50 m : *niveau bréchique dolomitique*, calcaire ;
 - 1,50 m : grès jaune, à taches de MnO₂;
 - 1,50 m : grès gris taché de rouille; analyse chimique citée p. 75.
 Base de la carrière.

9. **Carrière de Vilsberg** (feuille de Bouxwiller, quart n° 5; affleurement n° 25; 0,5 km SW de l'église; x : 960,4; y : 132,1; ancienne carrière Philippe).

- *Grès coquillier*.
 - 0,20 m : grès ocre-rouge taché de noir, coquillier, calcaireux;
 - 1,00 m : *Idem*; ce banc forme un surplomb très net.
- *Grès argileux* (4,40 m).
 - 0,80 m : *niveau-limite* constitué par une alternance de lits d'argile grise, feuilletée et de petits bancs de grès gris;
 - 0,70 m : *niveau fossilifère* : bancs alternativement durs et tendres de grès beige, jaune ou brun-jaunâtre, piqueté de noir, calcaireux et contenant *Natica*, *Gervilleia*, *Myophoria*, *Modiola*;
 - 0,70 m : grès gris en trois bancs;
 - 0,10 m : argile feuilletée grise;
 - 0,35 m : grès gris en deux bancs;
 - 0,55 m : *niveau fossilifère* : grès dur, calcaireux et poreux, jaune foncé, moucheté de noir, à moules internes de Lamellibranches;
 - 0,20 m : argile feuilletée grise;
 - 0,80 m : grès jaune piqueté de noir, calcaireux, non fossilifère, en bancs de 5 à 10 cm;
 - 0,20 m : argile lie-de-vin.
- *Grès à meules*.
 - 5,00 m : grès lie-de-vin en bancs massifs de 0,50 m à 1 m;
 - 2,60 m : grès gris et lie-de-vin, massif;
 - 4,00 m : grès lie-de-vin, massif;

10. **Carrière de Buchelberg** (feuille de Bouxwiller, quart n° 5; affleurement n° 26; 2,5 km de Phalsbourg; x : 962,6; y : 132,6).

- *Grès coquillier*.
 - 1,00 m : alternance de bancs de grès coquillier et de lits d'argile lie-de-vin.
- *Grès argileux* (4,70 m).
 - 0,20 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
 - 0,45 m : grès gris clair taché de noir par du Mn O₂;
 - 0,40 m : *niveau fossilifère* : petits bancs de grès brun-jaune, piqueté de brun-rouge;
 - 0,25 m : grès lie-de-vin;
 - 0,20 m : argile lie-de-vin;
 - 0,10 m : *niveau fossilifère* : grès brun-jaune piqueté de brun-rouge;
 - 0,25 m : grès gris;
 - 0,10 m : argile grise en feuillets;
 - 0,10 m : grès orangé;
 - 0,15 m : grès beige;
 - 1,50 m : alternance de minces feuillets argileux et de très petits bancs de grès lie-de-vin;
 - 0,10 m : grès rouge-orangé à points noirs, sans fossiles;

- 0,50 m : alternance de lits d'argile gréseuse et de bancs de grès lie-de-vin foncé;
 0,10 m : grès gris;
 0,20 m : argile lie-de-vin.
- *Grès à meules.*
 2,80 m : grès lie-de-vin, en bancs de 40 à 50 cm;
 3,00 m : éboulis de grès lie-de-vin.
 Base de la carrière.
11. **Carrière de Niderviller** (feuille de Sarrebourg, quart n° 4; affleurement n° 1; 1,1 km E de l'église;
 x : 454,85; y : 212,75 (*)).
- *Grès argileux.*
 0,50 m : éboulis de grès lie-de-vin, de grès gris clair et de grès coquillier;
 0,20 m : argile lie-de-vin;
 0,20 m : grès lie-de-vin foncé;
 0,60 m : argile lie-de-vin;
 0,50 m : nombreux petits bancs de grès lie-de-vin foncé;
 2,00 m : grès lie-de-vin foncé en bancs de 5 à 50 cm;
 0,50 m : argile lie-de-vin;
 1,80 m : grès lie-de-vin à grain très fin;
 1,00 m : argile lie-de-vin.
- *Grès à meules (15 m environ).*
 10,00 m : grès gris en bancs massifs de 2 à 3 m d'épaisseur;
 1,00 m : grès gris devenant jaunâtre à la base du banc, en même temps qu'il se charge en débris de plantes;
 0,10 m : grès argileux lie-de-vin;
 1,00 m : grès gris à lie-de-vin massif;
 3,00 m : grès gris à lie-de-vin, en bancs de 5 à 40 cm; *niveau à plantes.*
- *Couches intermédiaires supérieures.*
 0,50 m : *niveau bréchique dolomitique* et calcaire;
 0,50 m : grès gris;
 1,50 m : grès lie-de-vin, feldspathique, à nombreuses cavités alignées et remplies de poudre noirâtre très manganésifère;
 0,50 m : lentille de grès dolomitique et calcaire, jaunâtre;
 4,00 m : grès lie-de-vin, feldspathique, micacé, à grain grossier.
 Base de la carrière.
12. **Carrière d'Arzwiller** (feuille de Sarrebourg, quart n° 4; affleurement n° 2; 550 m NE de l'église;
 x : 458,4; y : 213,6 (*)).
- *Grès coquillier.*
 3,20 m : alternance de lits d'argile et de petits bancs de grès ocre-rouge à gris, piqueté ou moucheté de noir, souvent fossilifère;
 1,00 m : alternance d'argile grise en minces feuillets, et de grès argilo-micacé rouge et fossilifère;
 0,20 m : grès ocre-rouge piqueté de noir;
 0,15 m : argile grise;
 0,50 m : grès ocre-rouge piqueté de noir, en quatre bancs.
- *Grès argileux (6,10 m).*
 0,50 m : *Argile-Limite*, grés-micacée, grise;
 0,60 m : grès gris moucheté de noir par du MnO₂, en trois bancs de 20 cm d'épaisseur;
 5,00 m : bancs de 50 à 60 cm d'épaisseur alternativement constitués par du grès gris ou lie-de-vin et une argile grise.
- *Grès à meules (12 à 13 m).*
 5,30 m : grès gris à traînées beiges, en bancs massifs de 1 à 2 m;
 7 à 8 m : zone recouverte par des éboulis et sans doute occupée par quelques bancs massifs de grès à meules.
- *Couches intermédiaires supérieures.*
 Quelques affleurements de grès feldspathique, lie-de-vin caractéristique.
 Base de la carrière.
13. **Carrière de Saint-Louis** (feuille de Sarrebourg, quart n° 4; affleurement n° 4; 0,5 km SW de l'église;
 x : 459,5; y : 212,75 (*)).
- *Grès coquillier.*
- *Grès argileux (5 m).*
 1,00 m : *Argile-Limite*, lie-de-vin;
 1,00 m : grès gris en bancs de 5 à 10 cm séparés par des lits d'argile de 2 à 5 cm;
 2,00 m : grès gris à lie-de-vin, massif;

- 0,50 m : argile grise en feuillets;
 0,30 m : grès gris;
 0,20 m : argile feuilletée lie-de-vin.
- *Grès coquillier* (8 m) :
 2,50 m : grès gris, massif; la surface de ce banc est oxydée et présente des ripple-marks allongés dans le sens E-W ainsi que des fentes de dessiccation;
 1,10 m : grès gris-clair, massif;
 0,10 m : niveau à plantes : grès jaunâtre à nombreux débris végétaux;
 1,00 m : grès gris clair, massif.
 Base de la carrière.
 A 3,50 m environ au-dessous de la base de la carrière, on peut observer le contact entre le Grès à Meules et les Couches intermédiaires supérieures.
- 14. Carrière de Vallerysthal-Trois Fontaines** (feuille de Sarrebourg, quart n° 8; affleurement n° 10; 2,00 km NNE de l'église; $x : 455,6$; $y : 209,9$) (*).
- *Grès coquillier*.
 0,75 m : grès lie-de-vin tacheté du brunâtre en quatre petits bancs;
 0,50 m : argile lie-de-vin;
 0,70 m : grès ocre-rouge piqueté de brun, fossilifère en petits bancs de 10 cm d'épaisseur;
 0,30 m : argile lie-de-vin;
 0,50 m : grès ocre-rouge à ocre-jaune, tacheté de noir.
- *Grès argileux* (9, 10 m).
 0,50 m : *Argile-Limite* : alternance de lits d'argile et de très petits bancs de grès argileux lie-de-vin;
 0,60 m : grès gris, dur;
 1,00 m : argile grise;
 1,50 m : grès gris à bandes beiges, massif;
 2,50 m : alternance de bancs de grès lie-de-vin et de lits d'argile grise;
 1,00 m : grès lie-de-vin massif;
 0,50 m : argile lie-de-vin;
 1,00 m : grès lie-de-vin;
 0,50 m : argile lie-de-vin.
- *Grès à meules* (13 m).
 2,25 m : grès gris dur et massif;
 2,75 m : *idem*;
 3,00 m : grès gris massif et dur;
 0,50 m : grès rose;
 2,50 m : grès lie-de-vin tendre, en petits bancs;
 2,00 m : grès lie-de-vin fortement chargé en MnO_2 et en restes de végétaux.
- *Couches intermédiaires supérieures* (1).
 0,30 m : *niveau bréchique dolomitique*;
 0,20 m : grès lie-de-vin, feldspathique, micacé.
 Base de la carrière.
- 15. Carrière de Phalsbourg** (feuille de Saverne, quart n° 1; affleurement n° 6; 1,3 km SW de l'église; $x : 960,7$; $y : 129,4$); carrière située à l'E de la route de Phalsbourg à Lutzelbourg.
- *Grès coquillier*.
 1,40 m : grès ocre-rouge, ponctué de noir, très fossilifère, en bancs de 30 à 40 cm;
 0,40 m : *idem*, mais en bancs de 5 à 10 cm.
- *Grès argileux* (3,80 m).
 0,60 m : bancs de 5 à 10 cm alternativement constitués d'argile lie-de-vin et de grès gris;
 0,50 m : argile lie-de-vin compacte;
 0,20 m : grès blanc-rosé;
 0,80 m : argile lie-de-vin, en minces feuillets;
 0,70 m : *niveau fossilifère* : grès brun à ocre-rouge, piqueté de noir, très fossilifère (nombreux moules internes de Lamellibranches);
 1,00 m : argile jaunâtre au sommet, lie-de-vin à la base.
- *Grès à meules*.
 1,10 m : bancs de 10 à 20 cm de grès lie-de-vin ou gris;
 8,00 m : banc épais et massifs de grès lie-de-vin, gris ou blanc.
 Base de la carrière.
- Remarque :*
 Cette coupe a été relevée dans la partie la plus septentrionale de la carrière.

(1) Visibles à l'entrée de la carrière, dans le fossé, au bord de la route.

TABLEAU XIX
Principales caractéristiques des diverses formations du Permien et

			Allure générale	Couleur	Granulométrie	Caractères pétrographi
GRES COQUILLIER			Alternance de bancs de grès et de bancs d'argille de 0,10 à 1 m d'épaisseur	ocre-jaune, ocre-rouge ou brun-rouge ; taches et points noirs ou bruns		
BUNTSANDSTEIN	SUPERIEUR	GRES A VOLZIA	Alternance de bancs de grès et de bancs d'argille de 0,10 à 1 m d'épaisseur. Souvent une trilogie : - Argille-limite - Grès massif - Ensemble argileux de base	lie de vin, gris, beige	diamètre moyen : 0,08 mm mode : 0,12 mm	quartz : 70 % orthose : 29 % muscovite : 1 % dans la masse du grès ; très nombreux dans les lits argileux ; nombreux agrégats ; nourrissages nombreux.
		GRES A MEULES	Bancs gréseux massifs, épais de 1 à 5 ou 10 m, séparés par de très minces interlits argilo-micacés ; quelques rares lentilles d'argille	parfois lie de vin au sommet gris, beige, rose ou blanc souvent beige à la base		
		HORIZON A PLANTES DE BASE	Allure bréchique ; Nombreux végétaux	beige-jaunâtre taché de rouille		
	COUCHES INTERMEDIAIRES	BANC DE BRECHE DOLOMITIQUE SUPERIEURE	Grès à éléments noduleux de dolomite ; filonnets de calcite	beige-jaunâtre		Grès à ciment dolomitique quartz épigénisés par dolomite ; cornaline cristalline
		COUCHES INTERMEDIAIRES SUPERIEURES	Bancs de grès épais, massifs et irréguliers ; vastes lentilles d'argille ; présence de niveaux dolomitiques plus ou moins violets	lie-de-vin moyen, parfois jaunâtre ou blanchâtre ; quelques mouches d'oxyde de manganèse	diamètre moyen : 0,15 mm mode : 0,24 mm	quartz : 75 % orthose : 25 % muscovite : traces ; des nourrissages secondaires ; des agrégats.
		ZONE-VIOLETTE-SUPERIEURE.	Lits irréguliers renfermant des masses de dolomite et de cornaline	violette avec des mouches et barolures jaunâtres, verdâtres et blanchâtres		quartz anguleux épiqué par de la dolomite, et même épigénisée par de la cornaline.
		COUCHES INTERMEDIAIRES INFERIEURES	Bancs de 0,5 à 3 m d'épaisseur, de grès dur, souvent caverneux ; des galets	lie-de-vin foncé, parfois brun-rouge ; plus rarement jaunâtre ; fréquentes taches noirâtres d'oxyde de manganèse	diamètre moyen : 0,24 mm mode : 0,26 mm	quartz : 75 % orthose : 24 % muscovite : 1 % nourrissages peu importants
		BANC DE BRECHE DOLOMITIQUE BASAL	Grès bréchique à éléments de dolomite et de cornaline remaniés de la Z.L.V. sous-jacente	rose et jaunâtre		les mêmes que ceux de Z.L.V. sous-jacente
	MOYEN	ZONE-LIMITE-VIOLETTE	Bancs d'argille et de grès versicolores à dolomite et à cornaline ; aspect plus ou moins bréchique, noduleux et irrégulier	violet, passant au jaune, au vert ou au blanc.	semblable à celle du Grès vosgien dans les bancs peu remaniés ; très étalée dans les parties remaniées	quartz corrodés et éginés par de la dolomite ; dolomite épiquée par de la cornaline ; ment dolomitisé et scifié
		CONGLOMERAT PRINCIPAL	Alternance de bancs de grès identique au Grès vosgien et de bancs conglomératiques à nombreux galets	brun-rouge	bancs gréseux diamètre moyen : 0,20 mm mode : 0,25 mm bancs conglomératiques diamètre moyen : 1,60 mm mode : 2,70 mm	Identiques à ceux du Grès vosgien
		GRES VOSGIEN	Bancs épais et réguliers de 0,50 à 6 m de grès dur et massif	brun-rouge clair à rose-jaunâtre ; intercalation de lits blancs ; nombreux modules d'oxyde de manganèse à la partie inférieure surtout dans les Vosges Gréseuses septentrionales	diamètre moyen : 0,22 mm mode : 0,24 mm	quartz : 85 % orthose : 15 % muscovite : 0 % à traces quartz arrondis, à faciès éolien ; peu de nourrissages secondaires
		CONGLOMERAT INFERIEUR	Conglomérat à très nombreux galets et matrice sableuse et friable	brun-rouge à jaunâtre		Identiques à ceux du Grès vosgien
BUNTSANDSTEIN INFERIEUR		GRES D'ANNWEILER	Alternance de très petits lits d'argille et de bancs de grès de 0,25 à 2 m d'épaisseur	brun-rouge sombre à rouge moyen ; nombreuses taches noires d'oxyde de manganèse	diamètre moyen : 0,16 mm mode : 0,20 mm	quartz : 75 % orthose : 24 % muscovite : 1 % nodules de dolomite cristalline ; très peu de nourrissage secondaire
GRES PERMIEN			Bancs d'arkoses grossières à éléments anguleux, à ciment souvent friable et peu cohérent.	rouge à brun-rouge foncé ; des traînées blanches	diamètre moyen : 0,40 mm mode : 0,35 mm courbes très étalées ; sédiments non classés	quartz : 58 % orthose : 41 % muscovite : traces à 1 % nourrissages secondaires parfois assez nombreux importants ; grains non usés

du Buntsandstein des Vosges Gréseuses

ques	Stratification	Fossiles	Galets	Epaisseur
	essentiellement horizontale, parfois très faiblement oblique	marins (cf. E. Benecke, 1877, p. 589 - 5901)		10 à 30 m
a om- gilo- é- m-	très fine, horizontale ; dépôts pelliculaires	-animaux essentiellement dulçaquicoles ; parfois marins et rassemblés en quelques rares bancs peu épais d'un grès identique au Grès coquillier ; -végétaux peu nombreux		1,2 à 13 m (7 à 8 m en moyenne)
	surtout horizontale, parfois faiblement oblique, rarement entrecroisée	-animaux rarissimes ; -végétaux plus ou moins carbonisés ou épigénisés par de l'hématite brune, abondants et localisés dans des lentilles		5 à 15 m (10 à 12 m en moyenne)
	"en vrac"	- idem -		0,5 à 1 m
que ; la é-				0,20 à 0,50 m
-	oblique ou horizontale plus rarement entrecroisée	Des restes d' <i>Equisetum</i> au sommet de la formation		15 à 25 m (tableau XV)
nisés lie- e la	confuse			0,50 à 2 m
or-	oblique ou entrecroisée		peu nombreux (une dizaine par m ² d'affleurement) ; longueur moyenne : 20 mm ; quartz : 95 % quartzites : 5 % formes polyédriques : galets éolisés	30 m (tableau XV)
la	confuse			0,20 à 1 m
épi- clo- isée cl- ili-	horizontale dans les bancs peu remaniés ; confuse dans les bancs dolomitiques et silicifiés			4 à 5 m (en moyenne)
rès	oblique ou entrecroisée	rare fossiles dans les galets	très abondants (ordre du millier par m ² d'affleurement) ; longueur et nature variables (tableau XXVIII) façonnement et dépôts de type torrentiel ou fluvial	14 à 60 m moyenne : 20 m (tableau IX, tableau X)
es onne- con-	oblique ou entrecroisée plus rarement horizontale		disséminés dans la masse ou groupés en bancs conglomératiques ; semblables à ceux du Conglomérat principal ; <i>Vosges Gréseuses méridionales</i> et moyennes : galets abondants dans la partie supérieure ; <i>Vosges Gréseuse septentrionales</i> ; galets abondants dans la partie inférieure	variable : de 0 à 400 m (tableau VII, et tableau X)
rès	oblique ou entrecroisée		Identiques à ceux du Conglomérat principal	8 à 10 m
stal- rris-	souvent horizontale, parfois oblique			50 à 60 m
% ; es et	fréquemment oblique parfois entrecroisée, plus rarement horizontale ; stratifications souvent invisibles et dépôt "en vrac"		Quelques galets de granite et de gneiss ; des fragments anguleux dans les brèches de base, au contact avec le socle hercynien	variable : de 0 à 150 m

16. **Carrière de Marmoutier** (feuille de Saverne, quart n° 2; affleurement n° 12; 2,8 km NNW de l'église; $x : 969,5$; $y : 125,0$; carrière Zeiler).

— *Grès coquillier.*

0,15 m : grès ocre-rouge ponctué de noir.

— *Grès argileux* (3,60 m).

1,20 m : *Argile-Limite* lie-de-vin, compacte;

0,20 m : grès jaunâtre;

1,50 m : argile lie-de-vin compacte;

0,10 m : grès lie-de-vin;

0,70 m : argile lie-de-vin.

— *Grès à meules.*

3,50 m : grès gris à lie-de-vin en quatre bancs de 0,8 à 1 m;

0,00 à 0,50 m : lentille d'argile (anciens cours d'eau);

6,50 m : grès gris à lie-de-vin en bancs de 1 mètre.

Base de la carrière.

Remarque :

La coupe ci-dessus a été relevée dans la partie centrale de la carrière; vers l'E, l'horizon du Grès argileux est beaucoup plus gréseux et vers l'W il est nettement plus argileux.

17. **Carrière de Reinhardsmunster** (feuille de Saverne, quart n° 6; affleurement n° 14; 1,2 km NE de l'église; $x : 967,5$; $y : 121,2$).

— *Grès coquillier.*

0,20 m : grès ocre-rouge, tacheté de noir, calcareux.

— *Grès argileux* (2,50 m).

1,00 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;

0,50 m : grès lie-de-vin ou beige-jaunâtre; quelques restes végétaux;

1,00 m : argile lie-de-vin.

— *Grès à meules.*

1,50 m : grès lie-de-vin, massif;

1,80 m : grès lie-de-vin clair, massif;

2,20 m : grès brun-rouge, à grain très fin.

Base de la carrière.

18. **Carrière d'Allenwiller** (feuille de Saverne, quart n° 6; affleurement n° 17; 0,5 km W de l'église; $x : 970,65$; $y : 118,0$).

— *Grès coquillier.*

0,40 m : grès ocre-rouge, piqué de noir, poreux et tendre.

— *Grès argileux* (5,30 m).

0,50 m : *Argile-limite* lie-de-vin;

1,20 m : alternance de bancs de grès lie-de-vin et de lits d'argile de même couleur;

1,00 m : grès lie-de-vin, massif;

0,10 m : argile lie-de-vin;

2,00 m : grès lie-de-vin, massif;

0,50 m : alternance de lits d'argile et de très petits bancs de grès très argileux.

— *Grès à meules.*

5,00 m : grès gris dur et massif en bancs de 1 à 2 mètres.

Base de la carrière.

Remarque :

La coupe ci-dessus a été relevée dans la carrière la plus occidentale; deux autres carrières, situées à l'E de celle-ci, présentent des coupes tout à fait semblables.

19. **Carrière de Wasselonne, lieudit « La Papeterie »** (feuille de Saverne, quart n° 7; affleurement n° 18; 1,8 km W de l'église; $x : 974,5$; $y : 116,0$).

— *Grès coquillier.*

2,00 m : bancs de 40 à 60 cm de grès ocre-rouge à gris-bleuté et contenant de nombreux fossiles marins (Lamellibranches, Gastéropodes, etc.);

0,40 m : grès coquillier caractéristique : ocre-rouge piqué de noir, à moules internes de Lamellibranches et de Gastéropodes;

1,20 m : grès ocre-rouge piqué de noir, en bancs de 10 à 20 cm.

— *Grès argileux* (8 m).

2,50 m : *Argile-Limite* jaune-orangé, légèrement gréseuse;

1,00 m : alternance de lits d'argile et de grès lie-de-vin parfois jaunâtre;

0,50 m : *niveau marin* ? grès brun-jaunâtre, à « faciès marin », mais sans fossiles;

0,90 m : alternance de lits d'argile et de grès lie-de-vin parfois jaunâtre;

- 2,00 m : alternance de minces lits d'argile lie-de-vin et de bancs de 40 cm d'épaisseur de grès lie-de-vin.
- 1,10 m : argile lie-de-vin, compacte.
- *Grès à meules.*
- 1,20 m : grès bigarré, beige et lie-de-vin, comportant à la base des flow-markings et des pistes de vers;
- 0,50 m : grès lie-de-vin et beige;
- 0,10 m : lit argilo-gréseux gris;
- 2,40 m : grès massif lie-de-vin à bandes beiges;
- 2,00 m : grès massif beige-rosé à bigarrures beige-jaunâtre.
- Base de la carrière.
- Remarque :*
- Cette carrière a fait l'objet d'une description par DE SIVRY (1782) qui distingue deux parties :
- à la base, des bancs épais et massifs de « Pierre de sable »,
- au sommet, de minces bancs de pierre de sable séparés par des lits d'argile boliaire.
20. **Carrière de Merviller** (feuille de Lunéville, quart n° 8; affleurement n° 5; 1,2 km ENE de l'église; $x : 430,25$; $y : 187,5$) (*).
- *Grès coquillier.*
- 0,40 m : argile verte;
- 0,20 m : grès coquillier ocre-rouge, poreux, calcareux;
- 0,40 m : argile verte;
- 0,40 m : grès coquillier ocre-rouge, poreux, calcareux, ponctué de noir, très nombreux moulages de Lamellibranches et de Gastéropodes;
- 0,20 m : argile verte;
- 0,40 m : grès ocre-rouge, poreux, ponctué de noir.
- *Grès argileux* (5,45 m).
- 1,30 m : *Argile-Limite*, verte;
- 0,40 m : grès lie-de-vin et beige;
- 0,10 m : grès brun foncé, vacuolaire, ressemblant au « faciès marin » du Grès argileux, mais dépourvu de fossiles;
- 0,20 m : argile verte, en minces feuillets;
- 0,40 m : grès lie-de-vin, en très petits bancs;
- 1,00 m : grès lie-de-vin, en bancs de 20 à 40 cm;
- 0,70 m : argile versicolore grise, verte, rouge, jaune;
- 0,20 m : grès gris-jaunâtre;
- 0,15 m : argile gris-bleuté en minces feuillets;
- 0,80 m : grès brun foncé en bancs de 10 à 15 cm;
- 0,20 m : argile feuilletée gris-bleuté.
- *Grès à meules.*
- 5,40 m : grès gris en bancs massifs de 1 à 3 m;
- niveau de grès jaunâtre et blanchâtre, dolomitique où P. MAUBEUGE a découvert une lumachelle à Lamellibranches indéterminables (1959);
- 1,90 m : grès gris en deux bancs massifs;
- 0 à 0,30 m : lentille d'argile (ancien cours d'eau);
- 2,50 m : grès gris-jaunâtre;
- plateforme d'entrée de la carrière;
- 5,10 m : grès gris-jaunâtre;
- 1,10 m : grès beige à taches jaunes caractéristiques des niveaux de base du Grès à Meules.
- Base de la carrière.
21. **Carrière de Bréménil** (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 1; affleurement n° 1; 0,6 km NW de l'église; $x : 937,4$; $y : 101,4$).
- *Grès coquillier.*
- 0,60 m : grès coquillier typique, en petits bancs de 2 à 10 cm, très fossilifère;
- 0,30 m : argile verte;
- 0,50 m : 3 bancs de grès coquillier lie-de-vin clair taché de noir par MnO_2 ;
- 0,25 m : grès brun-rouge clair à ripple marks;
- 0,05 m : argile verte;
- 0,20 m : grès ocre-rouge, piqueté de noir, fossilifère.
- *Grès argileux* (5,5 m).
- 0,85 m : *Argile-Limite*, ocre-rouge au sommet, lie-de-vin à la base;
- 0,80 m : grès lie-de-vin;
- 0,80 m : argile lie-de-vin;
- 0,10 m : grès lie-de-vin;
- 0,30 m : argile lie-de-vin;
- 0,20 m : grès gris-clair;

0,35 m : argile lie-de-vin;
0,40 m : grès lie-de-vin;
0,70 m : argile feuilletée, lie-de-vin;
0,60 m : grès lie-de-vin;
0,40 m : argile lie-de-vin et verte.

— *Grès à meules.*

6,50 m : grès gris en bancs massifs, épais de 1 à 3 m.
Base de la carrière.

Remarque :

Il existe à Bréménil d'autres carrières qui m'ont fourni des coupes tout à fait semblables.

22. Carrière de Val-et-Châtillon (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 2; affleurement n° 5; 1,5 km NNW de l'église; $x : 941,0$; $y : 107,04$).

— *Grès coquillier.*

1,50 m : grès orangé tacheté de noir, à fossiles marins, en bancs de 10 à 15 cm d'épaisseur;
2,00 m : argile grise;
0,80 m : grès orangé, tacheté de noir, fossilifère et grès lie-de-vin, tacheté de brun, sans fossiles.

— *Grès argileux* (5,75 m).

2,00 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
1,75 m : grès lie-de-vin massif;
2,00 m : argile lie-de-vin.

— *Grès à meules* (11 m).

4,00 m : grès gris, dur et massif;
3,00 m : grès gris en petits bancs de 30 à 40 cm d'épaisseur;
2,00 m : grès beige-jaunâtre à taches rouilles, dur et massif;
2,00 m : Horizon à plantes de base : grès beige-jaunâtre à cavités remplies d'une poudre ocre-jaune; nombreux restes de végétaux; petits bancs de 20 à 40 cm.
Base de la carrière.

23. Carrière de Cirey-sur-Vezouse (feuille de Cirey-sur-Vezouse, quart n° 2, affleurement n° 6; 1,5 km ESE de l'église; $x : 941,25$; $y : 108,0$).

— *Grès coquillier.*

0,50 m : sol contenant des débris de Grès coquillier;
0,10 m : grès rouge-orangé fossilifère.

— *Grès argileux* (6,40 m).

0,60 m : *Argile-Limite* gris-verdâtre;
0,20 m : grès gris clair à mouchetures beiges;
1,00 m : argile gris-verdâtre;
0,45 m : alternance de petits bancs de grès gris clair et d'argile verdâtre;
1,60 m : grès gris-verdâtre;
0,05 m : argile gris-verdâtre;
0,40 m : grès gris à points beiges;
0,10 m : argile gris-verdâtre;
1,30 m : grès beige en fines plaquettes;
0,20 m : grès beige;
0,20 m : argile vert-bleuâtre à taches brunâtres.

— *Grès à meules.*

2,40 m : grès gris ou beige, massif;
1,60 m : grès gris-verdâtre;
1,50 m : grès gris; au milieu du banc s'intercale un niveau de grès jaunâtre renfermant de nombreux restes de plantes;
1,00 m : lentille d'argile gris-verdâtre (ancien cours d'eau);
0,90 m : grès versicolore jaunâtre et gris-beige;
0,50 m : grès jaunâtre en petits bancs;
0,40 m : lentille d'argile verte à trainées bistres (ancien cours d'eau);
2,00 m : grès beige à points jaunes.
Base de la carrière.

24. Carrière de Balbronn, route de la Maison forestière de Elmerfost (feuille de Molsheim, quart n° 3; affleurement n° 2; 3,8 km W de l'église; $x : 972,25$; $y : 110,8$).

— *Grès coquillier.*

0,50 m : sol renfermant des débris de Grès coquillier;
0,10 m : grès orangé piqueté de noir.

— *Grès argileux* (6 m environ).

0,40 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;

- 0,50 m : grès lie-de-vin massif;
- 0,50 m : grès lie-de-vin en petits bancs;
- 2,00 m : grès gris foncé à lie-de-vin;
- 1,00 m : grès gris;
- 1,00 m : argile lie-de-vin en minces feuillets intercalés avec de très minces lits de grès très argileux.
- *Grès à meules.*
 - 1,00 m : grès lie-de-vin;
 - 1,00 m : grès gris à lie-de-vin.
- Base de la carrière.

- 25. **Carrière de Niederhaslach** (feuille de Molsheim, quart n° 3; affleurement n° 3; 1,5 km E de l'église et 150 m W du carrefour de la Trinité; $x : 970,8$; $y : 106,0$).
- *Grès coquillier*
 - 0,50 m : sol renfermant des débris de grès brun-rouge taché d'ocre-jaune.
 - 0,40 m : argile grise et grès brun-rouge taché d'ocre jaune.
- *Grès argileux* (3,55 m).
 - 0,30 m : *Argile-Limite* grise;
 - 0,30 m : grès lie-de-vin et jaune-orangé;
 - 0,30 m : argile lie-de-vin;
 - 0,40 m : grès lie-de-vin;
 - 0,90 m : argile lie-de-vin;
 - 0,60 m : petits bancs de grès lie-de-vin; la surface des bancs est mamelonnée et ornée de ripple-marks allongés dans le sens NNE-SSW;
 - 0,35 m : minces feuillets alternativement argileux et gréseux;
 - 0,10 m : grès lie-de-vin; fentes de dessiccation;
 - 0,30 m : argile lie-de-vin en minces feuillets.
- *Grès à meules.*
 - 0,40 m : grès lie-de-vin et beige;
 - 2,80 m : grès lie-de-vin à taches rouilles.
- Banc de grès beige noyé par la mare qui occupe la carrière en permanence et toujours au même niveau et qui empêche de pousser la coupe vers le bas.

- 26. **Carrière de Gresswiller** (feuille de Molsheim, quart n° 3; affleurement n° 7; 1,8 km SSW de l'église; $x : 975,8$; $y : 103,4$).
- *Grès coquillier.*
 - Sol renfermant des débris de Grès coquillier;
 - 0,50 m : grès brun-rouge à grosses taches d'oxyde de fer, calcaireux et fossilifère.
- *Grès argileux* (13,00 m).
 - 1,50 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
 - 1,50 m : grès lie-de-vin en deux bancs massifs;
 - 6,50 m : terrain plus ou moins éboulé constitué par une alternance de bancs de grès lie-de-vin et de bancs d'argile de 0,50 m à 1 m d'épaisseur;
 - 2,00 m : grès gris;
 - 1,50 m : argile lie-de-vin.
- *Grès à meules.*
 - 0,50 m : grès jaune;
 - 6,50 m : grès jaune en un banc massif.
- Base de la carrière.

- 27. **Carrière de Sultz-les-Bains** (feuille de Molsheim, quart n° 4; affleurement n° 8; 0,8 km E de l'église; $x : 980,45$; $y : 109,8$).
- *Grès coquillier.*
 - 0,50 m : sol;
 - 0,50 m : grès violacé, calcaireux;
 - 0,80 m : grès rougeâtre à taches noires, coquillier et calcaireux, constituant vers le sommet de la carrière un niveau facile à repérer;
 - 0,60 m : grès gris-violacé, coquillier et calcaireux;
 - 0,20 m : grès rougeâtre, piqué de noir, coquillier;
 - 0,80 m : grès bleuté.
- *Grès argileux* (13,20 m).
 - 1,00 m : *Argile-Limite* grise;
 - 0,70 m : minces bandes de grès gris;
 - 1,00 m : grès dont l'ensemble est composé « de grands ellipsoïdes contigus, dont le petit axe est placé verticalement et dont le diamètre varie de 1,50 à 2 m » (A. DAUBREE, 1852, p. 103 et pl. II, fig. 23);

10,50 m : alternance régulière de bancs de grès gris-beige de 0,50 à 1 m d'épaisseur et de bancs d'argile feuilletée grise ou lie-de-vin de 20 à 80 cm d'épaisseur.

— *Grès à meules.*

13 m : Bancs massifs et épais de grès jaunâtre à lie-de-vin;
Base de la carrière.

Cette carrière a fait l'objet de plusieurs études et descriptions de la part de L. VOLTZ (1836), H. VON MEYER (1836), A. DAUBREE (1852), Ph. BILL (1914).

28. **Carrière de Rambervillers**, lieudit *Ferme de Métendal* (feuille de Rambervillers, quart n° 2; affleurement n° 3; 1,8 km NNE de l'église; $x : 419,4$; $y : 174,0$) (*).

— *Grès coquillier.*

0,50 m : sol renfermant des débris de Grès coquillier;
0,05 m : grès orangé, fossilifère;
0,60 m : grès vert, très argileux, fossilifère;
0,25 m : grès jaune, piqué de noir, très fossilifère;
0,10 m : argile verte;
0,20 m : grès orangé, taché de noir, fossilifère très dur et formant un surplomb;
0,35 m : argile lie-de-vin à Esthéries;
0,75 m : grès très sableux, rouge mêlé de noir; quelques fossiles.

— *Grès argileux* (4,40 m).

0,05 m : *Argile-Limite* verte;
0,05 m : grès dur, ripple-marks allongés dans le sens NW-SE;
0,20 m : grès jaune-orangé à *Equisetum*;
0,50 m : très fines plaquettes de grès gris-jaunâtre à jaune-rougeâtre à *Equisetum* alternant avec de minces lits d'argile gris-bleuté;
0,60 m : alternance de petits bancs de grès gris-bleuté en plaquettes et d'argile;
0,20 m : grès jaune à *Equisetum* carbonisés;
0,30 m : *niveau fossilifère* : grès brun-rouge piqué de noir, renfermant *Gervilleia*, *Myophoria*, *Natica*;
0,40 m : argile gris-bleuté;
0,20 m : grès gris, bariolé obliquement de brun, rouge, jaune;
0,20 m : argile verte;
0,20 m : grès gris, bariolé obliquement de brun, rouge, jaune;
0,20 m : argile verte en plaquettes;
0,70 m : grès beige-jaunâtre; à la base existent de beaux ripple-marks allongés dans le sens NW-SE;
0,30 m : argile verte en plaquettes.

— *Grès à meules.*

2,30 m : grès gris-clair ponctué de beige;
1,25 m : *idem*.
Base de la carrière.

29. **Carrière de Darney**, lieudit *Forge Kaitel* (feuille de Vittel, quart n° 8; affleurement n° 11; 2,6 km NE de l'église; $x : 878,5$; $y : 51,25$).

— *Grès coquillier*, orangé à points noirs, observable dans les champs situés au niveau du sommet de la carrière.

— *Grès argileux* (7,50 m).

1,50 m : *Argile-Limite* lie-de-vin renfermant de très minces feuillets de grès argileux;
0,30 m : grès dur, gris-jaunâtre, formant saillie;
2,20 m : bancs de 5 à 10 cm alternativement constitués par un grès lie-de-vin ou gris-rosé et une argile lie-de-vin;
2,50 m : grès jaunâtre en un banc massif renfermant quelques petites lentilles argileuses constituées par d'anciens cours d'eau; à la base ce grès est vacuolaire et bréchique;
1,00 m : argile lie-de-vin.

— *Grès à meules* (9,50 m).

1,80 m : grès gris massif;
2,20 m : *idem*;
0,50 m : grès jaunâtre vacuolaire, renfermant de nombreux restes de plantes;
1,80 m : grès gris massif;
0,20 m : grès jaune à nombreux restes de plantes carbonisées;
1,00 m : grès jaunâtre à taches orangées : c'est le niveau exploité le plus inférieur; les niveaux sous-jacents sont observés dans la tranchée d'accès à la carrière;
1,00 m : *niveau à plantes de base* : grès jaunâtre renfermant de nombreux restes de plantes carbonisées.

— *Couches intermédiaires.*

0,40 m : *niveau bréchique dolomitique* : grès gris à ciment ferrugineux abondant;
0,60 m : grès lie-de-vin à taches noires de MnO_2 .
Base de la carrière.

30. **Carrière de Bainville-au-Saules, lieudit Bonfays** (feuille d'Epinal, quart n° 1; affleurement n° 1; 1,0 km S de l'église).

— *Grès coquillier*.

- 1,00 m : sol renfermant de nombreux débris de Grès coquillier rougeâtre en plaquettes;
- 0,10 m : grès orangé piqueté de noir.

— *Grès argileux* (6,20).

- 1,40 m : *Argile-Limite* brunâtre;
- 0,80 m : grès lie-de-vin, très vacuolaire à mi-hauteur du banc;
- 2,20 m : alternance de bancs de grès lie-de-vin à taches rouilles de 20 à 30 cm d'épaisseur et de très minces lits d'argile brunâtre.
- 0,80 m : argile brunâtre en très minces feuillets;
- 0,60 m : grès lie-de-vin taché de rouille;
- 0,40 m : argile brunâtre.

— *Grès à meules*.

- 0,20 m : grès lie-de-vin très tendre;
 - 5,50 m : grès lie-de-vin taché de MnO_2 et de Fe_2O_3 , en bancs de 0,50 à 2 m;
 - 3,00 m : Grès à Meules recouvert par des éboulis.
- Base de la carrière.

31. **Carrière de Jeuxy** (feuille de Bruyères, quart n° 1; affleurement n° 1; 650 m NNE de l'église; $x : 407,6$; $y : 157,1$) (*).

— *Grès coquillier*, orangé à points noirs, observé dans les champs situés au-dessus de la carrière.

— *Grès argileux* (11 m environ).

- 5 m environ : partie occupée par des champs et des zones éboulées au sommet de la carrière;
- 1,00 m : grès blanc veiné de jaune en petits bancs de 10 à 20 cm d'épaisseur;
- 0,50 m : argile gris-bleuté;
- 1,00 m : grès blanc;
- 0,60 m : *niveau fossilifère* : grès brun foncé piqueté de noir et de jaune, renfermant *Gervilleia*, *Natica*, *Myophoria*;
- 2,70 m : banc épais de grès veiné de jaune, blanc au sommet, gris-noirâtre à la base;
- 0,50 m : argile gris-bleuté.

— *Grès à meules*.

- 1,70 m : grès gris, légèrement lie-de-vin;
 - 0,50 m : grès jaunâtre, renfermant de nombreux restes de plantes;
 - 2,00 m : grès blanc-rosé, veiné de jaune;
 - 4,00 m : grès blanc-rosé, veiné de jaune;
 - 0,40 m : lentille d'argile gris-bleuté (ancien cours d'eau);
 - 1,50 m : grès jaune-rouille taché de rouge.
- Base de la carrière.

32. **Carrière de Deyvillers, lieudit Ferme des Adelphe**s (feuille de Bruyères, quart n° 1; affleurement n° 2; 1,0 km SE de l'église; $x : 408,05$; $y : 155,65$) (*).

— *Grès coquillier*

- 0,50 m : sol renfermant des débris de Grès coquillier;
- 0,50 m : petits bancs de grès jaune-orangé taché de noir ou lie-de-vin taché de brun.

— *Grès argileux* (6,50 m).

- 0,75 m : *Argile Limite* gris-bleuté;
- 4,25 m : alternance de grès lie-de-vin ou gris et d'argile grise en bancs de 0,50 à 1 d'épaisseur;
- 1,00 m : quatre bancs de grès gris;
- 0,50 m : argile grise.

— *Grès à meules*.

- 1,20 m : grès gris-jaune veiné de rouge;
 - 0,20 m : *idem* en petits bancs;
 - 0,40 m : grès gris-jaunâtre;
 - 0,50 m : grès jaunâtre renfermant des débris de plantes;
 - 0,90 m : grès gris veiné de jaune.
- Base de la carrière.

33. **Carrière de Fontenay** (feuille de Bruyères, quart n° 2; affleurement n° 7; 0,5 km WSW de l'église; $x : 414,3$; $y : 158,0$) (*).

— *Grès coquillier*.

- 0,50 m : sol renfermant des débris de Grès coquillier;
- 0,10 m : grès orangé taché de rouille et de noir;

— *Grès argileux* (4,70 m).

- 3,50 m : alternance de bancs d'argile et de bancs de grès de 10 à 30 cm d'épaisseur;

0,60 m : grès massif, lie-de-vin;
0,60 m : argile grise.

— *Grès à meules.*

2,00 m : grès massif gris-jaunâtre.
Base de la carrière.

34. Carrière de Bains-les-Bains (feuille de Plombières-les-Bains, quart n° 2; affleurement n° 5; 0,8 km SW de l'église; x : 892,2; y : 339,9).

— *Grès coquillier*, orangé et brun foncé, taché de noir observé au sommet de la carrière.

— *Grès argileux* (7 m).

1,50 m : alternance de petits bancs de grès lie-de-vin et de lits d'argile de même couleur;
2,00 m : grès lie-de-vin en bancs de 0,50 m d'épaisseur;
3,50 m : grès gris en bancs de 0,5 à 1 m d'épaisseur;
0,30 à 0,50 m : argile gris-bleuté.

— *Grès à meules.*

3,00 m : grès massif gris et beige.
Base de la carrière.

35. Carrière de Fleurey-les-Saint-Loup (feuille de Plombières-les-Bains, quart n° 6; affleurement n° 15, 0,9 km N de l'église; x : 875,75; y : 333,3).

— *Grès coquillier*, orangé à points noirs, observé dans les champs situés au niveau du sommet de la carrière.

— *Grès argileux* (5 m environ).

0,70 m : sol argileux renfermant quelques débris de Grès coquillier et de nombreux débris de Grès argileux;
1,50 m : alternance de petits bancs de grès lie-de-vin ou gris taché de noir et de lits d'argile lie-de-vin;
1,40 m : banc massif de grès lie-de-vin légèrement brunâtre;
1,20 m : alternance de petits bancs de grès lie-de-vin et de lits d'argile de même couleur;
0,20 m : argile gréseuse lie-de-vin.

— *Grès à meules.*

1,20 m : grès gris piqueté de noir;
0,20 m : grès jaunâtre à débris végétaux;
1,30 m : grès gris piqueté de noir.
Base de la carrière.

36. Carrière d'Osenbach (feuille de Neuf-Brisach, quart n° 1; affleurement n° 2; 0,5 km NE de l'église; x : 964,2; y : 343,4).

— *Grès coquillier.*

0,70 à 1,50 m : grès orangé ou gris-jaunâtre, piqueté de noir, très calcaireux.

— *Grès argileux* (6,30 m).

0,50 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
1,00 m : grès beige, massif;
2,20 m : grès lie-de-vin en très fines plaquettes;
1,00 m : grès lie-de-vin massif;
1,10 m : grès lie-de-vin en plaquettes, nombreux cours d'eau superposés et s'entrecoupant;
0,50 m : argile lie-de-vin.

— *Grès à meule* (7 m).

1,50 m : grès beige massif;
2,50 m : grès beige massif;
2,00 m : grès beige massif;
1,00 m : *niveau à plante de base* : grès jaunâtre riche en restes de végétaux.

— *Couches intermédiaires supérieures.*

0,50 m : *Banc de brèche dolomitique supérieur* : grès jaunâtre très calcaireux, bréchique;
0,50 m : argile lie-de-vin;
1,00 m : grès lie-de-vin très argileux, en petits bancs;
7,30 m : grès lie-de-vin, en bancs épais de 1,0 à 3,5 m séparés par des interlits argileux.
Base de la carrière.

Remarque : Cette coupe synthétise deux carrières très voisines l'une de l'autre.

37. Carrière de Conflans (feuille de Luxeuil, quart n° 2; affleurement n° 1; 2,2 km SE de l'église; x : 891,3; y : 318,5).

— *Grès coquillier.*

1,50 m : sol contenant de très nombreux blocs de Grès coquillier ocre-jaune, taché de noir, calcaireux;
0,05 m : grès gris clair taché de rouille;
0,30 m : argile lie-de-vin foncé;

- 0,20 m : grès orangé à points noirs;
0,10 m : grès coquillier, vacuolaire et poreux.
- *Grès argileux* (3,40 m).
0,50 m : *Argile-Limite* lie-de-vin;
0,40 m : grès lie-de-vin en trois petits bancs à la surface desquels on remarque des flow-markings;
0,50 m : 5 petits bancs de grès rose taché de jaune;
1,10 m : argile lie-de-vin;
0,10 m : grès lie-de-vin en minces feuillets;
0,80 m : argile gris-verdâtre très finement feuilletée.
- *Grès à meules* (9,80 m).
1,20 m : grès lie-de-vin;
2,20 m : grès lie-de-vin;
0,10 m : argile gris clair feuilletée;
2,50 m : grès lie-de-vin;
0,30 m : grès jaune riche en débris de plantes;
3,50 m : grès à meules masqué par des éboulis.
Base de la carrière.
38. **Carrière de Saint-Germain, lieudit « Les Carrières »** (feuille de Giromagny, quart n° 5; affleurement n° 4; 1,5 km NNE de l'église; x : 915,1; y : 312,2).
- *Grès coquillier*.
1,00 m : alternance de grès et de sable coquillier, orangés et piquetés de noir, calcareux.
- *Grès argileux* (5,20 m).
1,20 m : *Argile-Limite* blanche au sommet, jaune-grisâtre à la base et renfermant de très petits lits de grès brun-chocolat;
0,10 m : grès versicolore orangé et gris taché de noir;
1,00 m : grès lie-de-vin en trois bancs de 20 cm et trois séries constituées de très minces feuillets;
2,20 m : grès gris-blanchâtre en bancs de 15 à 50 cm; nombreux cours d'eau superposés et s'entre-coupant;
0,10 m : argile lie-de-vin;
0,50 m : *niveau fossilifère* : grès brun-chocolat; nombreuses cavités renfermant une poudre ocre (Fe_2O_3) ou noire (MnO_2);
0,10 m : argile gréseuse en feuillets.
- *Grès à meules*.
2,50 m : grès lie-de-vin;
2,00 m : grès gris-clair;
3,00 m : grès gris-rosé;
2,70 m : zone éboulée;
1,10 m : grès gris clair piqueté et taché de jaune.
Base de la carrière.
- Remarque* : Cette carrière a fait l'objet d'une description de la part de CARDOT (1911).
39. **Carrière de Granges-la-Ville** (feuille de Lure, quart n° 5; affleurement n° 11; 0,5 km W de l'église; x : 918,1; y : 293,7).
- *Grès coquillier*.
0,10 m : grès coquillier brun-rouge;
0,50 m : argile grise;
0,20 m : grès orangé piqueté de noir.
- *Grès argileux* (4 m).
1,00 m : *Argile-Limite* bariolée, rouge, blanche, jaune, orangée au sommet et lie-de-vin foncé à marron vers le bas;
2,50 m : grès lie-de-vin, massif vers l'E de la carrière et en bancs de 0,3 à 1 m vers l'W;
0,50 m : argile lie-de-vin.
- *Grès à meules*.
3,00 m : grès lie-de-vin; petites taches rouges vers le sommet;
1,00 m : grès gris;
0,80 m : grès beige;
0,20 m : grès jaune renfermant de nombreux restes de végétaux;
0,80 m : grès beige;
1,20 m : grès beige à gris-rosé; vers le milieu s'intercale un niveau jaunâtre renfermant de nombreux restes de plantes.
Base de la carrière.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE

INTRODUCTION A L'ÉTUDE SÉDIMENTOLOGIQUE DES DÉPÔTS DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN

Ayant eu pour but essentiel de rechercher l'origine probable des sédiments, la nature des agents qui ont présidé à leur érosion puis à leur transport et enfin à leur dépôt, ils nous fut nécessaire d'opérer une sélection parmi les nombreuses méthodes applicables à une telle étude.

Nous sommes donc parti de ce qui était immédiatement accessible, c'est-à-dire du mode de dépôt final dont nous avons recherché les agents probables; puis ainsi conduit, nous avons suivi les sédiments jusqu'à leur source; voyons par quelles méthodes.

— **Recherche de l'agent de dépôt final.**

Les caractères les plus sensibles au mode de dépôt final étant la *granulométrie* des sédiments et la *disposition des galets*, nous leur avons consacré une bonne partie de notre étude et nous y avons joint celle de la *nature des stratifications*.

— **Recherche de la direction et du sens du transport.**

Pour cela nous avons eu recours :

— à l'étude des *stratifications* (mesure de l'inclinaison des plans de stratification);

— à l'étude des *galets* :

— étude du centile,

— étude de l'évolution de la longueur moyenne des galets dans une direction donnée,

— étude de l'évolution des constituants des galets dans une direction donnée;

— à l'étude *granulométrique*, mais pour une part plus faible.

— **Recherches du continent d'origine et du type de roches susceptibles d'avoir fourni les matériaux.**

Les *minéraux lourds* fournissent une bonne réponse à cette question par les cortèges caractéristiques et faciles à isoler qu'ils constituent.

— **Recherche des agents de fragmentation et d'usure.**

Elle a abouti grâce à l'étude de la forme des éléments qui constituent les sédiments : *étude morphométrique des galets* (émoussé, aplatissement, dissymétrie) et *étude morphoscopique des sables*.

Le plan de cette deuxième partie sera donc le suivant :

— Chapitre I : Etude granulométrique des sédiments.

— Chapitre II : Etude des galets (morphométrie, centile, nature, longueur moyenne, disposition).

— Chapitre III : Etude des sables (morphoscopie, minéraux lourds).

— Chapitre IV : Etude des stratifications (nature et sens des écoulements liquides).

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DES SÉDIMENTS GRÉSEUX DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN

I. — METHODE D'ETUDE

La méthode employée est celle qui est décrite dans tous les ouvrages de pétrographie sédimentaire.

Nous avons effectué nos tamisages sur des échantillons naturellement meubles; leur préparation a consisté uniquement en trempage dans l'eau et trituration à la main.

Nos tamisages ont été effectués avec des tamis de la série TYLER, de raison $\sqrt{2}$.

Le temps de tamisage a toujours été de 20 minutes.

Le poids de l'échantillon traité a été de 500 g pour les sables; pour les conglomérats, il a été de 10 à 20 kg selon la grosseur et l'importance des galets : après tamisage et pesage sur le terrain même, la plus grande partie de ceux-ci était abandonnée et la fraction fine obtenue était traitée au laboratoire de la même manière que les sables.

Nos résultats sont représentés au moyen de courbes cumulatives : les tailles ont été portées en abscisses avec adoption d'une échelle logarithmique; les pourcentages en poids des tamisats cumulés ont été portés en ordonnées.

Pour chaque échantillon nous avons également construit une courbe de fréquence simple qui nous a beaucoup aidé dans l'interprétation des résultats; mais faute de place, ces courbes n'ont pu figurer dans cet ouvrage.

A partir de ces courbes, nous avons défini les *quartiles* : Q_1 , Q_2 , Q_3 et les *déciles* P_{10} , P_{90} qui nous ont permis de calculer quelques rapports :

— le coefficient de classement : $\sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$

Le sédiment est considéré comme bien classé si son coefficient de classement est inférieur à 2,5, comme mal classé si son coefficient est supérieur à 4,5, la moyenne étant située vers 3;

— le coefficient d'asymétrie : $\frac{Q_1 \cdot Q_3}{(Q_2)^2}$.

Ce coefficient exprime la symétrie par rapport à la médiane;

— le coefficient d'angulosité ou Kurtosis : $\frac{Q_3 - Q_1}{2(P_{10} \cdot P_{90})}$.

Nous l'avons cité pour compléter notre étude et pour permettre d'éventuelles comparaisons avec d'autres études similaires qui auraient utilisé ce coefficient, mais à notre avis il ne présente pas une bien grande utilité.

II. — LES FAITS ET LEUR INTERPRETATION

Ils sont résumés par les courbes cumulatives (fig. 10, 11, 12, 13) et par le tableau XX (p. 123 à 125).

A. — DIMENSION DES GRAINS

1° Séparation des sédiments en groupes.

Afin d'obtenir une vue plus synthétique de ce caractère, nous avons calculé la moyenne des divers fractiles des sédiments d'une même formation : on constate aussitôt qu'il permet un classement dimensionnel de nos sédiments en quatre groupes (tableau XXI, p. 125) :

— un premier groupe renferme les grès fins :

Grès à Voltzia;

— un deuxième groupe renferme les grès moyens :

Grès d'Annweiler

Grès vosgien

Grès des Couches intermédiaires

Bancs gréseux du Conglomérat principal;

— un troisième groupe renferme les grès grossiers :

Grès permien;

— un quatrième groupe renferme les conglomérats :

Conglomérat inférieur

Conglomérat principal.

Ce caractère de la taille des grains permet déjà de séparer le Permien du Buntsandstein : dans le Permien les courbes traduisent la grossièreté du sédiment tandis que dans le Buntsandstein ces courbes traduisent la finesse du sédiment; de plus, on s'aperçoit que les diverses formations du Buntsandstein sont profondément cohérentes entre elles : à première vue les conglomérats semblent bien s'en détacher, mais ce n'est là qu'une impression due à la présence des galets, — car la matrice de ces poudingues possède la marque typique du Buntsandstein (fig. 12 D).

Tous ces caractères apparaissent d'ailleurs très bien sur les courbes cumulatives qui ont été groupées par formations (fig. 10, 11, 12, 13).

2° Variations verticales de la taille des grains.

a) A l'échelle du banc.

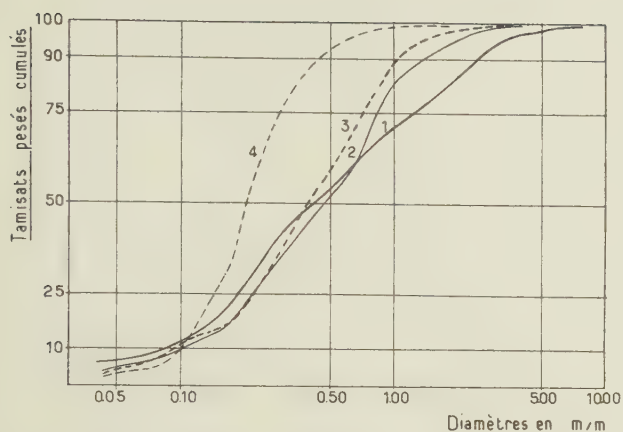
Les figures 11 C, 11 D, 12 A, 12 B, matérialisent le phénomène de granodécroissance observé à l'échelle du banc dans toutes les formations du Permien et du Buntsandstein. Systématiquement menée dans plusieurs carrières d'une même région et dans plusieurs bancs d'une même carrière, cette étude a permis de constater les faits suivants :

— Les grès sont mal lavés et plus grossiers à la base des bancs, bien lavés et plus fins au sommet (fig. 11 C et D, 12 A et B).

— La granodécroissance est régulière (fig. 11 D).

— Que les bancs soient épais de plusieurs mètres (fig. 11 C et D) ou d'une dizaine de centimètres seulement (fig. 12 B), une granodécroissance s'observe toujours.

Cette granodécroissance verticale, à l'intérieur d'un banc, est le signe de pulsations dans la sédimentation : à notre avis, la base grossière et mal lavée de chaque banc est la conséquence d'une chasse d'eau qui, par érosion et remaniement du sommet argileux du banc sous-jacent, a provoqué la mise en suspension des limons et des colloïdes qui sont ainsi mêlés aux apports grossiers (fig. 11 C, courbe 1); puis la chasse d'eau s'apaisant, un lavage et un triage des éléments s'effectue : les courbes dénotent une faible proportion de « fines » et le classement est excellent (fig. 11 D, courbe 1); enfin tout se calme, les sédiments deviennent



A : Grès du Permien supérieur.

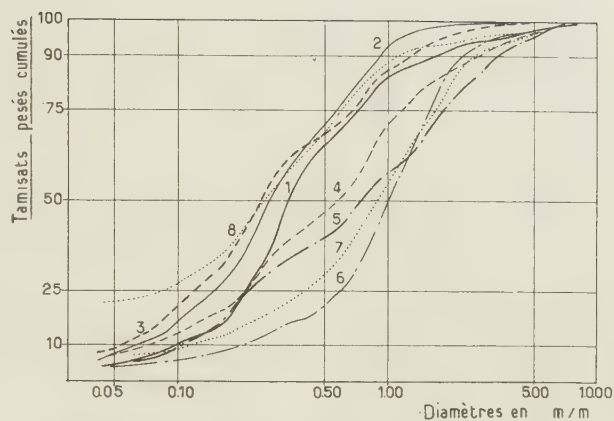
(Couches de Kohlbächel). La Vancelle (Feuille de Sélestat SW).

1. alt. 385 m, grès très proche du socle.

2. alt. 450 m.

3. alt. 490 m.

4. alt. 525 m : 10 à 15 m au-dessous du Grès vosgien.



B : Permien de divers bassins :

1. Vexaincourt (Feuille de Cirey-sur-Vezouse SE).

2. Montagne d'Ormont (Feuille de St-Dié SW), 10 m au-dessous du Grès vosgien (alt. 560 m).

3. Montagne d'Ormont (Feuille de St-Dié SW), 30 m au-dessous du Grès vosgien (alt. 540 m).

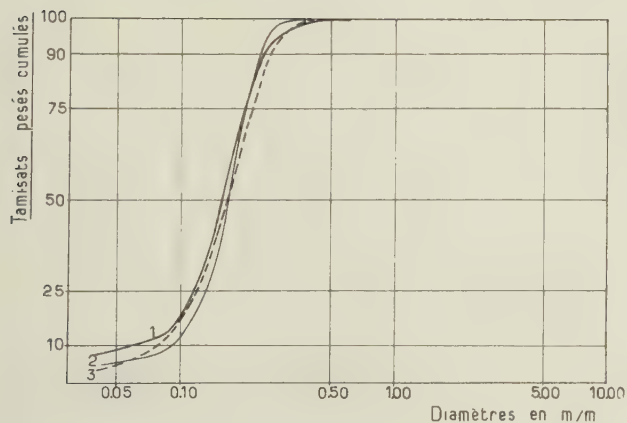
4. Tranchée du Chemin de fer de Saales à Lubine (Feuille de Saint-Dié, SE) contact avec le socle.

5. Saint-Léonard (Feuille de Gérardmer NW), affleurement très proche du socle.

6. Giromagny (Feuille de Giromagny SE), affleurement très proche du socle.

7. Saligney (Massif de la Serre, Feuille de Pesmes SE).

8. Faymont (Feuille de Lure SW).

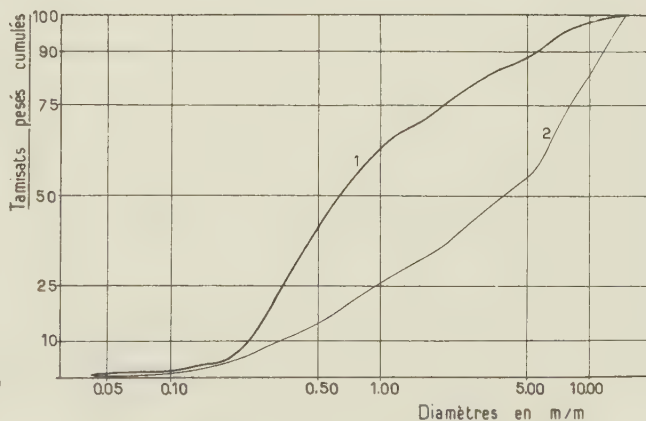


C : Buntsandstein inférieur :

1. Wissembourg (Weiler) (Feuille de Lembach SE).

2. Niedersteinbach (Feuille de Lembach SW).

3. Philippsbourg (Feuille de Lembach SW).

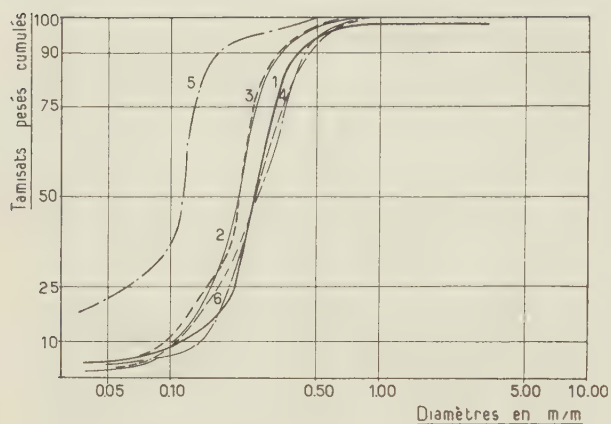


D : Conglomérat inférieur du Grès vosgien :

1. Philippsbourg (Feuille de Lembach SW).

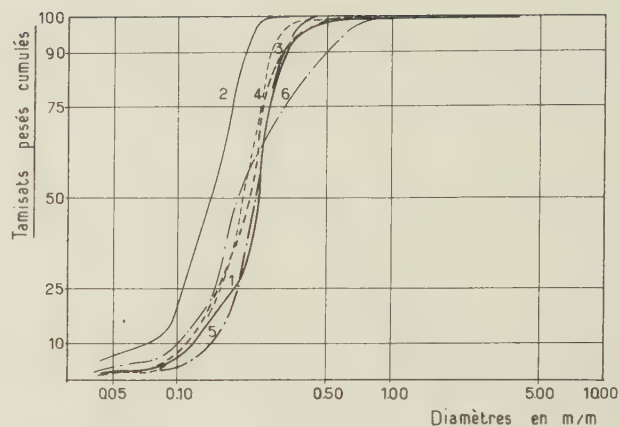
2. Bruyères, route de Belmont (Feuille de Bruyères NE).

FIG. 10



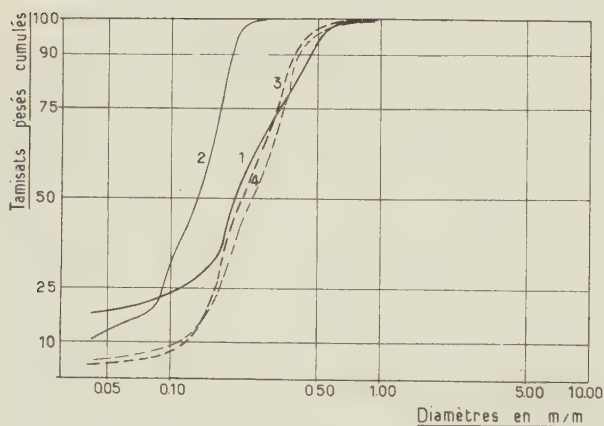
A : Grès vosgien inférieur :

1. Philippsbourg, ruine de Falkenstein (Feuille de Lembach SW).
2. Zinswiller (Feuille de Haguenau NW).
3. La Vancelle (Feuille de Sélestat SW).
4. Biffontaine (Feuille de Bruyères NE).
5. Bruyères (Feuille de Bruyères NE); lit blanc.
6. Bruyères (Feuille de Bruyères NE); lit rouge prélevé immédiatement au-dessus de l'échantillon précédent.



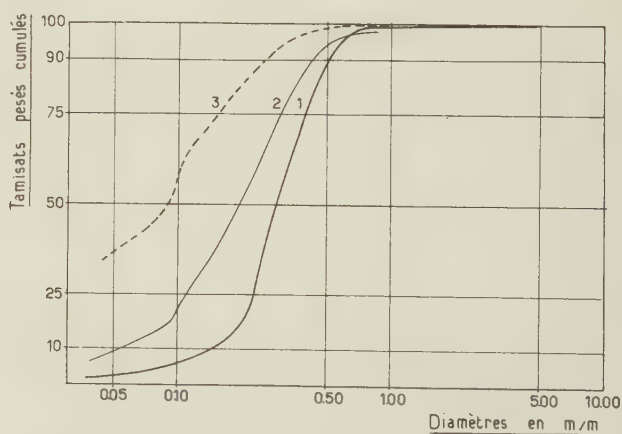
B : Grès vosgien :

1. Bitche (Feuille de Bitche, NE).
2. Climbach - Col du Pigeonnier (Feuille de Lembach SE).
3. La Petite Pierre (Feuille de Bouxwiller SW).
4. Walscheid (Feuille de Sarrebourg SE).
5. Scierie de Stambach (Feuille de Saverne NW).
6. Offemont (Feuille de Belfort NW).



C : Grès vosgien : Bruyères (Feuille de Bruyères NE).

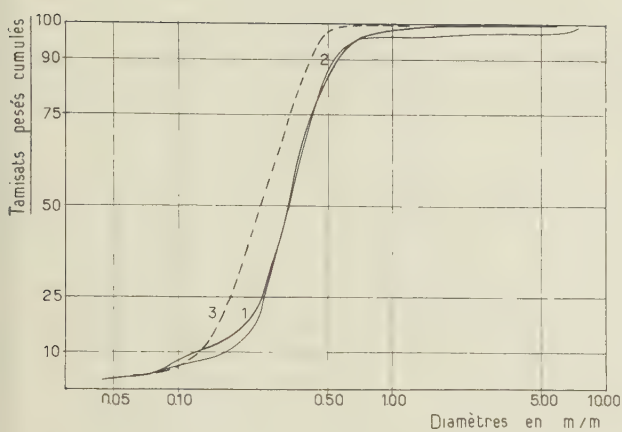
1. Haut de Helderaye; Base d'un banc.
2. Haut de Helderaye; sommet d'un banc.
3. Lit blanc.
4. Lit rouge prélevé immédiatement au-dessous de l'échantillon précédent.



D : Grès vosgien : Biffontaine (Feuille de Bruyères NE).

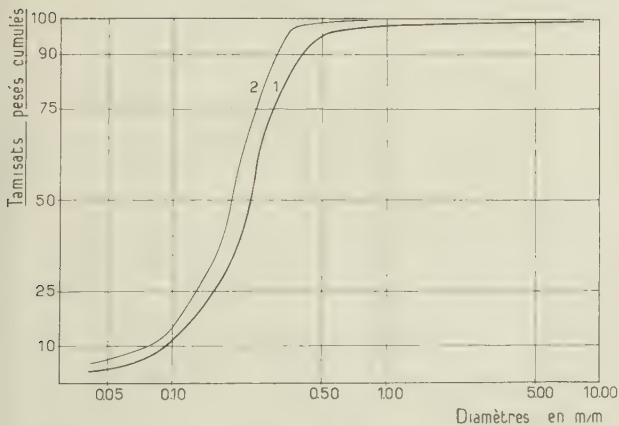
1. Milieu d'un banc, massif, à stratification oblique.
2. Partie supérieure du même banc.
3. Partie terminale du même banc.

FIG. 11



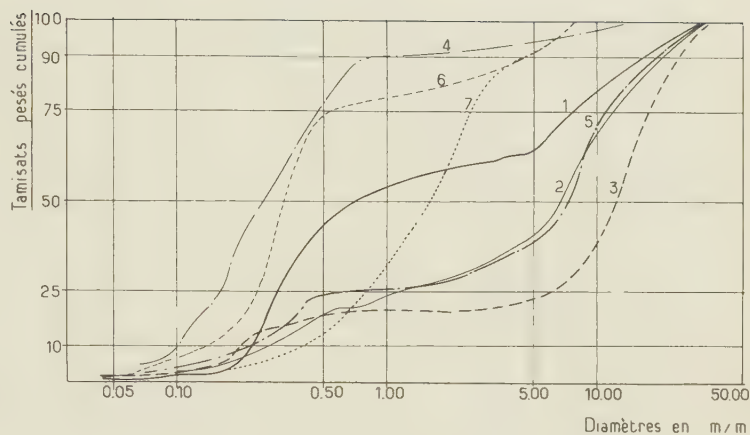
A : Grès vosgien : Biffontaine (Feuille de Bruyères NE).

- 1 et 2. Parties basales d'un même banc; échantillons prélevés en deux parties différentes et éloignées de ce banc.
3. Partie supérieure du même banc.



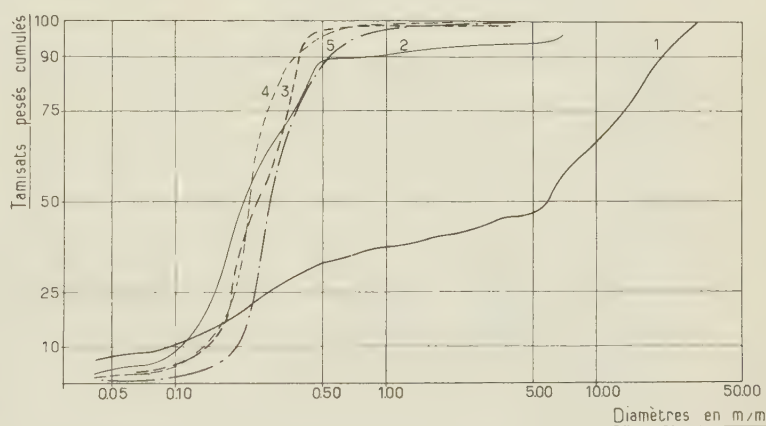
B : Grès vosgien : Biffontaine (Feuille de Bruyères NE).

1. Base d'un banc de 10 cm d'épaisseur, situé dans un ensemble caractérisé par une stratification entrecroisée.
2. Sommet du même banc.



C : Conglomérat principal :

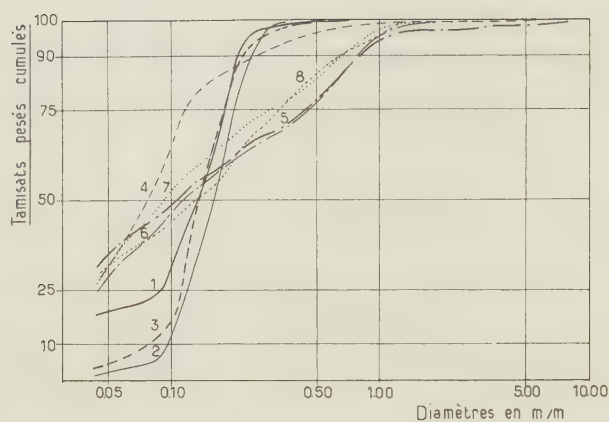
1. Walscheid - St-Léon (Feuille de Sarrebourg SE).
2. Saint-Quirin (Feuille de Sarrebourg SE).
3. Lépanges (Feuille de Bruyères NW).
4. Sénargent (Feuille de Lure SW) partie terminale du Conglomérat principal, ne comportant que peu de galets.
- 5 et 6. Offemont (Feuille de Belfort NW).
5. Conglomérat ordinaire,
6. Conglomérat terminal : très peu de galets.
7. Moisse (Feuille de Pesmes SW) Buntsandstein moyen du Massif de la Serre.



D : Comparaison de bancs gréseux du Conglomérat principal et de bancs conglomératiques du Grès vosgien :

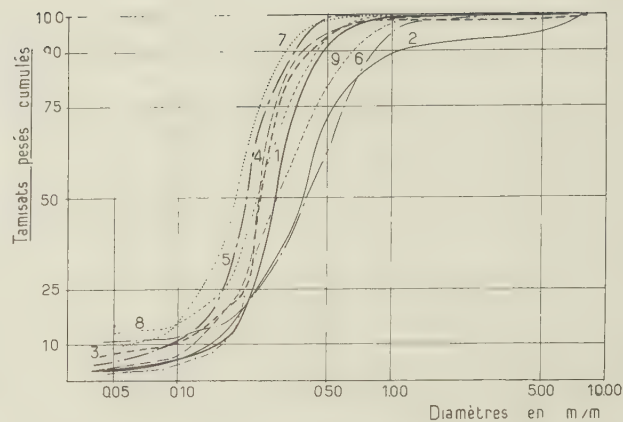
1. Marlenheim - Le Kronthal (Feuille de Saverne SE). Banc conglomératique dans le Grès vosgien.
- 2 et 3. Charmois l'Orgueilleux (Feuille d'Epinal SW) :
2. Grès vosgien comportant quelques galets.
3. Conglomérat principal sans galets.
- 4 et 5. — Lutzelbourg (Feuille de Saverne NW) :
4. Partie terminale totalement gréseuse du Conglomérat principal.
5. Banc de Conglomérat principal comportant quelques galets.

FIG. 12



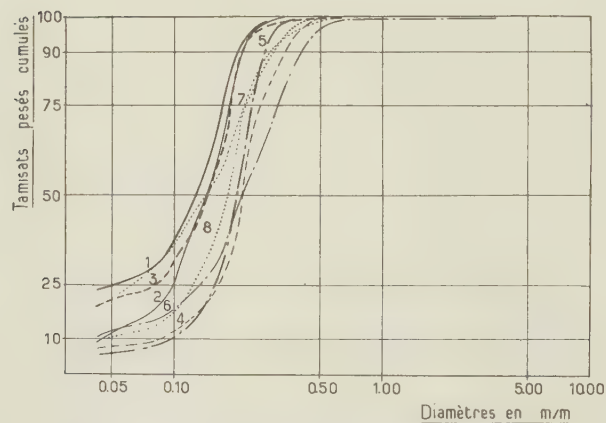
A : Anciens sols plus ou moins altérés.

1. Relanges (Feuille de Vittel SE); sol formé au-dessus du socle granitique et fossilisé par la transgression du Conglomérat principal (p. 37).
- 2 et 3. Sénargent (Feuille de Lure SW).
2. Base de la Zone-Limite-Violette.
3. Sommet de la Zone-Limite-Violette.
- 4 à 7. Claudon - Maison forestière de Senennes (Feuille de Monthureux-sur-Saône NE); Zone-Limite-Violette.
8. Fontenoy-le-Château (Feuille de Plombières NW); Zone-Limite-Violette.



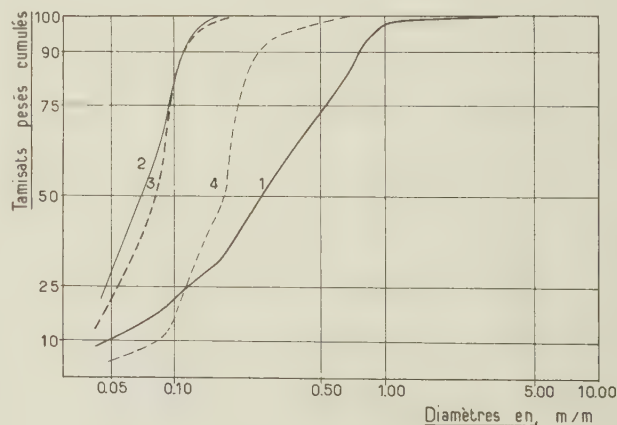
B : Couches intermédiaires inférieures :

1. Saint-Louis-les-Bitche (Feuille de Bitche SW).
2. Hottviller (Feuille de Bitche NW).
3. Lobsann-Lampertsloch (Feuille de Lembach SE).
4. Soucht (Feuille de Buxviller NW).
5. Parux (Feuille de Cirey-sur-Vezouse NW).
6. Claudon (Feuille de Monthureux-sur-Saône NE).
7. Claudon-Maison forestière de Senennes (Feuille de Monthureux-sur-Saône NE).
8. Fontenoy-le-Château (Feuille de Plombières NW).
9. Fontaine-les-Luxeuil (Feuille de Luxeuil NE).



C : Couches intermédiaires supérieures :

1. Loutzwiller (Feuille de Walschbronn SE).
2. Lemberg (Feuille de Bitche SE).
3. Bru (Feuille de Rambervillers NE).
4. Renauvoid (Feuille d'Epinal SE).
5. Abbaye de Chaumousey (Feuille d'Epinal NE).
- 6 et 8. Mémenil (Feuille de Bruyères NW).
7. Granges-le-Bourg (Feuille de Lure SW).



D : Grès à Voltzia :

1. Barville (Feuille de Sarrebourg SE).
2. Ménarmont (Feuille de Lunéville SW).
3. Sainte-Hélène (Feuille de Rambervillers SE).
4. Darney-la Forge Kaïtel (Feuille de Vittel SE).

FIG. 13

TABLEAU XX
Granulométrie des grès du Permien et du Buntsandstein

Référence de la courbe correspondant à l'échantillon	P ₁₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	P ₉₀	Modes	Classement	Asymétrie	Kurtosis
PERMIEN									
Figure 10 A									
courbe 1	0,08	0,19	0,40	1,25	2,50	<u>0,27</u> - 0,85 - 2,7	2,46	1,49	0,22
" 2	0,10	0,22	0,45	0,82	1,40	0,12 - <u>0,27</u> - <u>0,95</u>	1,93	0,89	0,23
" 3	0,09	0,22	0,40	0,72	1,05	0,12 - <u>0,35</u> - <u>0,90</u>	1,81	0,99	0,27
" 4	0,10	0,14	0,20	0,29	0,44	0,24	1,44	1,02	0,22
Figure 10 B									
courbe 1	0,10	0,21	0,34	0,72	1,65	0,14 - <u>0,33</u> - 1,0	1,85	1,31	0,12
" 2	0,06	0,15	0,27	0,56	0,90	0,13 - <u>0,35</u> - 0,90	1,98	1,16	0,24
" 3	0,06	0,12	0,25	0,95	1,30	0,12 - <u>0,30</u> - 0,95	2,81	1,83	0,33
" 4	0,08	0,21	0,60	1,25	2,60	0,12 - <u>0,34</u> - 1,0	2,44	0,73	0,21
" 5	0,11	0,22	0,75	1,85	3,40	0,25 - 1,0 - <u>2,0</u>	2,90	0,72	0,25
" 6	0,21	0,60	1,0	1,55	2,20	0,25 - <u>1,3</u>	1,61	0,93	0,21
" 7	0,11	0,40	0,90	1,70	2,60	0,25 - <u>1,1</u> - 2,8	2,08	0,84	0,26
" 8		0,09	0,26	0,60	1,10	0,25 - 0,70	2,60	0,80	
GRES D'ANNWEILER									
Figure 10 C									
courbe 1	0,06	0,12	0,15	0,20	0,24	0,175	1,29	1,07	0,22
" 2	0,09	0,13	0,16	0,19	0,23	0,20	1,21	0,90	0,21
" 3	0,08	0,12	0,16	0,22	0,26	0,23	1,35	0,97	0,28
CONGLOMERAT INFÉRIEUR									
Figure 10 D									
courbe 1	0,24	0,34	0,64	2,05	5,75	<u>0,37</u> - 0,65 - 2,70	2,46	1,70	0,15
" 2	0,34	0,96	4,0	8,30	10,20	1,4 - 2,7 - <u>1,60</u>	2,94	1,85	0,37
GRES VOSGIEN INFÉRIEUR									
Figure 11 A									
courbe 1	0,12	0,21	0,25	0,32	0,40	0,35	1,24	1,07	0,19
" 2	0,11	0,16	0,22	0,26	0,34	0,24	1,27	0,95	0,21
" 3	0,10	0,15	0,22	0,26	0,33	0,25	1,32	0,81	0,24
" 4	0,11	0,17	0,26	0,35	0,47	0,35	1,43	0,88	0,25
" 5		0,06	0,12	0,14	0,18		1,53	0,6	
" 6	0,14	0,20	0,27	0,36	0,45		1,34	0,99	0,26
GRES VOSGIEN									
Figure 11 B									
courbe 1	0,12	0,18	0,24	0,26	0,32	0,24	1,20	0,81	0,20
" 2	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,21	1,28	1,01	0,25
" 3	0,11	0,15	0,22	0,25	0,32	0,24	1,29	0,78	0,24
" 4	0,11	0,16	0,20	0,25	0,27	0,25	1,25	1,00	0,28
" 5	0,14	0,19	0,23	0,27	0,32	0,25	1,19	0,97	0,22
" 6	0,10	0,15	0,19	0,32	0,50	<u>0,23</u> - 0,50	1,46	1,44	0,21
Figure 11 C									
courbe 1		0,11	0,21	0,33	0,46	0,17 - <u>0,24</u> - 0,46	1,73	0,82	
" 2	0,04	0,09	0,14	0,17	0,20	0,17	1,37	0,78	0,25
" 3	0,11	0,17	0,25	0,35	0,38		1,43	0,95	0,33
" 4	0,12	0,16	0,22	0,32	0,35		1,41	1,06	0,23

Référence de la courbe correspondant à l'échantillon	P ₁₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	P ₉₀	Modes	Classement	Asymétrie	Kurtosis
Figure 11 D									
courbe 1	0,14	0,23	0,29	0,40	0,50	0,33	1,32	1,10	0,24
" 2	0,05	0,11	0,20	0,31	0,43	0,13 - 0,33	1,68	0,85	0,26
" 3			0,09	0,16	0,26	0,12 - 0,23			
Figure 12 A									
courbe 1	0,12	0,25	0,32	0,42	0,56	0,13 - 0,35	1,29	1,05	0,19
" 2	0,17	0,25	0,33	0,42	0,54	0,13 - 0,35	1,29	0,96	0,23
" 3	0,13	0,18	0,24	0,33	0,42	0,34	1,35	1,03	0,26
Figure 12 B									
courbe 1	0,09	0,16	0,23	0,30	0,40	0,15 - 0,33	1,37	0,91	0,23
" 2	0,08	0,13	0,19	0,24	0,30	0,25	1,36	0,86	0,25
CONGLOMERAT PRINCIPAL									
Figure 12 C									
courbe 1	0,22	0,30	0,70	7,50	16,00	0,34 - 15,0	5,00	4,60	0,23
" 2	0,28	1,10	6,60	11,50	19,50	0,50 - 16,0	3,24	0,25	0,27
" 3	0,20	5,50	12,00	17,00	24,0	0,25 - 15,0	1,75	0,65	0,24
" 4	0,10	0,16	0,26	0,46	0,94	0,13 - 0,24 - 0,48	1,69	1,09	0,18
" 5	0,22	0,56	7,40	11,20	19,00	0,47 - 15,50	4,47	1,14	0,53
" 6	0,15	0,25	0,32	9,56	4,5	0,35	1,93	0,82	0,05
" 7	0,40	0,78	1,60	2,50	4,45	0,30 - 1,0 - 2,70	1,79	0,76	0,21
GRES VOSGIEN CONGLOMERATIQUE									
Figure 12 D									
courbe 1	0,09	0,28	1,6	14,00	16,00	0,12 - 2,50 - 20,0	22,35	1,54	0,43
" 2	0,11	0,16	0,22	0,37	0,80	0,24 - 0,50	1,52	1,22	0,15
CONGLOMERAT PRINCIPAL GRESEUX									
Figure 12 D									
courbe 3	0,14	0,19	0,25	0,35	0,39	0,25 - 0,50	1,36	1,06	0,28
" 4	0,14	0,20	0,23	0,23	0,37	0,24	1,18	1,06	0,31
" 5	0,19	0,24	0,28	0,38	0,54	0,35	1,26	1,16	0,26
ANCIENS SOLS et ZONE-LIMITE-VIOLETTE									
Figure 13 A									
courbe 1		0,09	0,13	0,18	0,21	0,19	1,41	0,95	
" 2	0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,22	1,29	0,95	0,27
" 3	0,08	0,11	0,14	0,18	0,22	0,17	1,28	1,01	0,25
" 4		0,04	0,08	0,12	0,25	0,12-0,38	1,73	0,75	
" 5		0,03	0,10	0,44	0,80	0,06-0,12-0,24-0,72	3,83	1,32	
" 6		0,04	0,11	0,46	0,79	0,06-0,12-0,80	3,39	1,52	
" 7		0,04	0,09	0,29	0,64	0,06-0,12-0,23-0,71	2,69	1,43	
" 8		0,04	0,13	0,33	0,64	0,12-0,24-0,50-1,35	1,87	0,78	
COUCHES INTERMEDIAIRES INFERIEURES									
Figure 13 B									
courbe 1	0,15	0,22	0,29	0,36	0,48	0,35	1,28	0,94	0,21
" 2	0,15	0,23	0,38	0,54	1,00	0,25 - 0,50	1,53	0,86	0,18
" 3	0,09	0,21	0,24	0,29	0,41	0,35	1,17	1,06	0,12
" 4	0,12	0,20	0,24	0,28	0,38	0,24	1,18	0,97	0,15
" 5	0,09	0,16	0,21	0,26	0,36	0,25	1,27	0,94	0,18
" 6	0,04	0,23	0,39	0,59	0,80	0,24 - 0,60	1,57	0,89	0,24
" 7	0,06	0,13	0,18	0,24	0,31	0,13 - 0,24	1,36	0,96	0,22
" 8	0,03	0,5	0,24	0,32	0,44	0,14 - 0,26	1,41	0,89	0,19
" 9	0,16	0,21	0,29	0,44	0,65	0,24 - 0,35	1,45	1,10	0,23

Référence de la courbe correspondant à l'échantillon	P ₁₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	P ₉₀	Modes	Classement	Asymétrie	Kurtosis
COUCHES INTERMEDIAIRES SUPERIEURES									
Figure 13 C									
courbe 1		0,05	0,13	0,17	0,21	0,20			
" 2	0,06	0,10	0,15	0,19	0,22	0,13 - <u>0,24</u>	1,38	0,84	0,28
" 3		0,08	0,15	0,19	0,22	0,24	1,54	0,68	
" 4	0,09	0,17	0,21	0,26	0,34	0,13 - <u>0,25</u>	1,24	1,00	0,18
" 5	0,10	0,16	0,20	0,24	0,28	0,24	1,22	0,96	0,22
" 6	0,04	0,13	0,21	0,21	0,41	0,30	1,54	0,91	0,24
" 7	0,05	0,13	0,18	0,22	0,30	0,24	1,3	0,88	0,18
" 8		0,07	0,15	0,22	0,29	0,13 - <u>0,24</u>	1,77	0,68	
GRES A VOLTZIA									
Figure 13 D									
courbe 1	0,05	0,11	0,26	0,52	0,66	0,13 - <u>0,32</u> - 0,76	2,18	0,85	0,34
" 2		0,047	0,068	0,092	0,10	0,11	1,40	0,93	
" 3		0,053	0,082	0,096	0,12	0,13	1,35	0,76	
" 4	0,08	0,11	0,17	0,20	0,25	0,14 - <u>0,24</u>	1,35	0,76	0,26

N.B. Dans les courbes plurimodales, le mode le plus important est en caractères soulignés, le mode moyen en italiques et le mode mineur en caractères ordinaires.

TABLEAU XXI
*Les formations du Permien et du Buntsandstein
classées par ordre des dimensions croissantes des sédiments*

Formation	P ₁₀	Q ₁	Q ₂	Q ₃	P ₉₀	Mode	Classement	Asymétrie	Kurtosis
<u>Groupe 1</u>									
Grès à Voltzia		0,06	0,08	0,09	0,12	0,13	1,37	0,90	
<u>Groupe 2</u>									
Grès d'Annweiler	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,20	1,29	0,97	0,22
Couches intermédiaires supérieures	0,06	0,13	0,16	0,22	0,29	0,24	1,38	0,88	0,22
Grès vosgien	0,11	0,16	0,22	0,30	0,37	0,25	1,35	0,95	0,23
Grès du Conglomérat principal	0,14	0,20	0,23	0,28	0,37	0,25	1,26	1,06	0,28
Couches intermédiaires inférieures	0,09	0,21	0,24	0,32	0,44	0,26	1,41	0,94	0,19
<u>Groupe 3</u>									
Grès permien	0,10	0,21	0,40	0,82	1,40	0,35	2,03	0,96	0,23
<u>Groupe 4</u>									
Conglomérat principal	0,22	0,56	1,60	7,50	16,0	2,70	3,24	0,82	0,23

de plus en plus fins (fig. 11 D, courbe 2) et le cycle s'achève par des dépôts de matériaux très fins et souvent argileux (fig. 11 D, courbe 3) qui seront remaniés par la chasse d'eau suivante.

Quelle est l'origine de ces pulsations ? On peut évoquer une origine climatique : climat comportant une alternance de périodes sèches et de périodes humides; on peut aussi évoquer un système de chenaux divaguant sur une aire d'épandage, ce qui cadre assez bien avec la présence des stratifications entrecroisées; ces deux hypothèses ne s'excluent d'ailleurs pas l'une l'autre mais peuvent au contraire s'étayer mutuellement : la divagation d'un cours d'eau peut en effet être due à une crue subite provoquée par l'installation d'une période humide succédant à une période sèche.

b) A l'échelle de la formation.

α) Dans les bassins permien, les sédiments présentent une granodécroissance générale et régulière de la base au sommet; d'abord très rapide, elle s'atténue ensuite; les figures 10 A et 10 B traduisent bien ce caractère.

β) En revanche, dans le Buntsandstein, nous n'avons jamais pu observer une diminution ou une augmentation continue de la taille des grains à l'échelle de la formation.

3° Variations horizontale de la taille des grains.

a) A l'échelle du banc.

Si, dans un banc, on peut constater des variations granulométriques verticales, en revanche il n'existe pas de variations granulométriques horizontales (fig. 12 A) : des échantillons prélevés au même niveau dans un même banc, mais à plusieurs dizaines de mètres de distance les uns des autres, ont toujours présenté la même granulométrie (fig. 12 A, courbes 1 et 2).

b) A l'échelle de la chaîne.

Si, afin d'éliminer la variable précédente, on prend le soin de toujours prélever les échantillons au même niveau, par exemple à la base des bancs, on aperçoit alors une granodécroissance progressive quand on se déplace du S vers le N.

A l'extrême sud le Grès vosgien de la région de Belfort (fig. 11 B, courbe 6) présente une fraction fine bien triée et lavée (mode aigu à 0,23 mm) dont l'origine est lointaine, mais un mauvais triage dans les fractions grossières (mode assez étalé à 0,50 mm) dont l'origine est, de ce fait, assez proche; cette courbe est à rapprocher de la courbe 4 de la figure 10 A qui appartient à un sédiment prélevé au sommet du bassin permien de Villé : dépôt d'un sable provenant d'un relief peu éloigné.

— Dans les Vosges Gréseuses moyennes, on perçoit déjà une diminution de la granulométrie même lorsqu'on ne considère que la base des bancs (fig. 11 C, courbe 1; 12 A, courbes 1 et 2; 12 B, courbe 1).

— Dans les Vosges Gréseuses septentrionales (fig. 11 B, courbes 1 à 5) les sédiments sont plus fins et leur classement est très poussé; tout indique qu'ils sont plus éloignés de la roche-mère que les précédentes.

Tout ceci constitue un bon argument en faveur de l'hypothèse d'un courant cheminant du S vers le N.

B. — LE CLASSEMENT

Il peut être évalué d'un coup d'œil par l'examen de la pente des courbes; de plus, il a été chiffré (tableaux XX et XXI).

— Ce classement est excellent :

- dans le Grès d'Annweiler (fig. 10 C);
- dans le Grès vosgien (fig. 11 et 12 A et B);
- dans les bancs gréseux du Conglomérat principal (fig. 12 D, courbes 3, 4, 5);
- dans les Couches intermédiaires (fig. 13 B et C);
- dans le Grès à Voltzia (fig. 13 D);

en résumé dans tous les niveaux gréseux du Buntsandstein.

Tous ces niveaux sont constitués par des sédiments évolués, bien triés et convenablement lavés.

— *Ce classement est plus médiocre* dans les grès permien (fig. 10 A, courbes 2, 3, 4 et fig. 10 B, courbes 1, 2, 3) *et il devient mauvais* quand ces grès ont été prélevés à la base des bassins (fig. 10 A, courbe 1 et fig. 10 B, courbes 4 à 8).

Ces sédiments proviennent d'épandages non triés ou de coulées boueuses n'ayant effectué qu'un très court trajet entre le lieu de l'érosion et le lieu du dépôt.

— *Ce classement est très mauvais :*

— dans le Conglomérat inférieur (fig. 10 D);

— dans le Conglomérat principal (fig. 12 C) et dans les bancs conglomératiques du Grès vosgien (fig. 12 D, courbe 1).

Plus encore que dans les cas précédents, ces sédiments caractérisent des cônes de déjections

C. — L'ASYMETRIE

Elle gravite autour de 1 dans les grès du Buntsandstein et s'en éloigne dans les grès du Permien et surtout dans les conglomérats du Buntsandstein où on dénote une mauvaise répartition du classement, soit dans les fractions grossières, soit dans les fractions fines.

Si cette asymétrie est utile pour caractériser un échantillon, elle ne présente pas une grande valeur à l'échelle de la formation et aucune conclusion paléogéographique n'a pu être tirée de son étude.

III. — CONCLUSION : LA PALEOGEOGRAPHIE DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN VUE A TRAVERS L'ETUDE GRANULOMETRIQUE

A. — De quelque bassin qu'ils proviennent, *les grès du Permien* présentent des courbes caractéristiques d'épandages non triés de cônes de déjections ou encore de coulées boueuses déposées dans des cuvettes au pied même de reliefs vigoureux. La forte hétérométrie, le mauvais classement affirment ce caractère qui s'atténue d'ailleurs vers le sommet de la formation où l'on observe toujours un meilleur triage, indice de la fin du remplissage des bassins.

B. — *Dans le Buntsandstein*, les grès présentent un ensemble très homogène de courbes caractéristiques d'un dépôt de type fluvial.

1° *Pour le Grès d'Annweiler*, l'analyse granulométrique constitue un bon argument en faveur de son appartenance au Trias plutôt qu'au Permien.

2° *Le Grès vosgien* : c'est surtout dans cette formation que les phénomènes de granodécroissance s'observent le plus commodément, permettant d'évoquer des chasses d'eau brutales, des cours d'eau divagants et des épandages en nappes.

3° *Les conglomérats* : il n'existe aucune différence essentielle entre le Conglomérat inférieur (fig. 10 D) et le Conglomérat principal (fig. 12 C). Ils sont caractérisés par des courbes bi et trimodales comportant un palier dans les tailles comprises entre 0,50 et 5,00 mm. Ce déficit est caractéristique des alluvions provenant des granites et des gneiss qui fournissent très peu d'éléments de cette dimension.

Toutes les courbes issues des conglomérats sont caractéristiques de sédiments provenant d'épandages brutaux, non triés, mal classés.

Notons que *dans le Grès vosgien*, il existe des bancs conglomératiques tout à fait semblables aux bancs conglomératiques du Conglomérat principal; ceci se traduit par une identité des courbes granulométriques (comparer la courbe 1 de la fig. 12 D avec les courbes de la fig. 12 C).

Enfin certains bancs du Conglomérat principal ne contiennent pas de galets et sont gréseux : ils fournissent alors des courbes identiques (fig. 12 D, courbes 3 à 5) à celles du Grès vosgien. Ceci constitue un argument supplémentaire en faveur de l'appartenance du Conglomérat principal au groupe du Buntsandstein moyen plutôt qu'à celui du Buntsandstein supérieur (cf. p. 38).

Cas du Massif de la Serre.

Dans le Massif de la Serre, le Buntsandstein moyen est caractérisé par un grès assez friable renfermant granules et galets; les éléments ne sont pas usés et les courbes granulométriques (fig. 12 C, courbe 7) dénotent un sédiment non trié, mal classé, tout à fait comparable aux sédiments permien (fig. 10 B, courbe 7); il est donc vraisemblable que le type de sédimentation qui a régné au Permien s'est poursuivi dans le Massif de la Serre jusque dans le Buntsandstein et que les sédiments du Buntsandstein moyen provenaient d'un massif assez proche.

4° Les Zones-Violettes (Zone-Limite-Violette, Zone-Violette supérieure) fournissent deux types de courbes :

— les unes dénotent un sédiment encore bien classé semblable aux niveaux gréseux du Conglomérat principal sous-jacent (fig. 13 A, courbes 2 et 3); les fractiles et le mode sont du même ordre de grandeur que ceux des courbes des figures 11 B, C, D, et 12 A, B;

— les autres sont très mal classées : la pente est très faible et si la médiane (Q_2) est sensiblement la même que dans les échantillons précédents, les autres fractiles sont très différents (fig. 13 A, courbes 4 à 8).

La proportion de « fines » est importante; ceci est corroboré par l'analyse aux rayons X qui a permis de déceler une abondance de grains de quartz très fins (taille inférieure à $2\ \mu$), en même temps que la présence d'une illite intensément altérée. Ces observations, jointes à celles effectuées sur lames minces et qui décèlent des épigénisations des grains de quartz par des carbonates, puis de ceux-ci par de la cornaline, font penser à un *sol* : les quartz très fins proviendraient de la fragmentation pédologique de la silice; cette fragmentation s'effectuant sur les éléments de toutes les tailles entraîneraient l'aspect non classé que présentent ces courbes. L'illite aurait été altérée par des actions météoriques; les épigénisations et les nourrissages sont caractéristiques de surfaces évoluant en climat chaud (G. MILLOT, H. RADIER, R. MULLER-FEUGA, M. DEFOSSEZ et R. WEY, 1959).

5° Dans le Buntsandstein supérieur, les Couches intermédiaires inférieures (fig. 13 B) et supérieures (fig. 13 C), ainsi que le Grès à Voltzia (fig. 13 D) présentent des courbes dénotant un bon classement et qui ne se distinguent pas, à ce point de vue, du Grès vosgien.

Il est intéressant de noter que les Couches intermédiaires supérieures sont plus fines que les inférieures et que le Grès à Voltzia l'est encore plus : nous constatons ici l'amoindrissement et l'éloignement des reliefs nourriciers et l'acheminement progressif vers la sédimentation chimique très fine du Muschelkalk.

CHAPITRE II

ÉTUDE DES GALETS

I. — ETUDE MORPHOMETRIQUE DES GALETS

A. — LES METHODES

La forme et le degré d'usure des galets sont les deux critères qui permettent d'apprécier l'agent de fragmentation et d'usure, c'est-à-dire l'agent de transport des matériaux. Parmi les méthodes morphométriques, nous avons recherché celles qui fournissent des indices *parlants* et dont l'emploi n'exige pas un temps hors de proportion avec le but recherché; c'est pourquoi nous avons choisi :

- l'indice d'aplatissement qui donne une bonne idée de la forme des galets,
- l'indice d'émoussé et l'indice de dissymétrie qui reflètent assez bien le degré d'usure des galets.

Pour que les mesures soient comparables entre elles, nous avons toujours opéré sur des galets de même dimension : entre 3,5 et 6 cm de longueur.

La nature des galets influant sur la valeur des indices, nous avons mené des essais parallèles sur des lots de galets de quartz et sur des lots de quartzite : les premiers s'étant avérés plus *sensibles* que les seconds, nous les avons préférés aux autres.

En définitive, notre étude a porté sur *cinquante lots de cent galets de quartz* distribués géographiquement sur toute l'étendue des Vosges Gréseuses et prélevés surtout dans le Conglomérat principal.

Les méthodes employées sont suffisamment connues pour qu'il ne soit pas nécessaire de les exposer ici; rappelons simplement la bibliographie : A. CAILLEUX (1945) pour les indices de dissymétrie et d'aplatissement; A. CAILLEUX (1947), G. BOUILLET et A. CAILLEUX (1949*a, b, c*), J. TRICART et R. SCHAEFFER (1950) pour l'indice d'émoussé; un résumé des trois méthodes est en outre exposé dans A. VATAN (1954), M. DERRUAU (1956) et surtout dans A. CAILLEUX et J. TRICART (1959, tome I).

B. — LES FAITS ET LEUR INTERPRETATION

1° Les galets du Conglomérat principal.

a) Indice d'émoussé.

Pour chaque lot, le chiffre cité correspond à la valeur médiane (galet de rang 50 dans un lot de 100 galets) des indices d'émoussé de premier ordre : $\frac{2r^1}{L} \times 1\,000$.

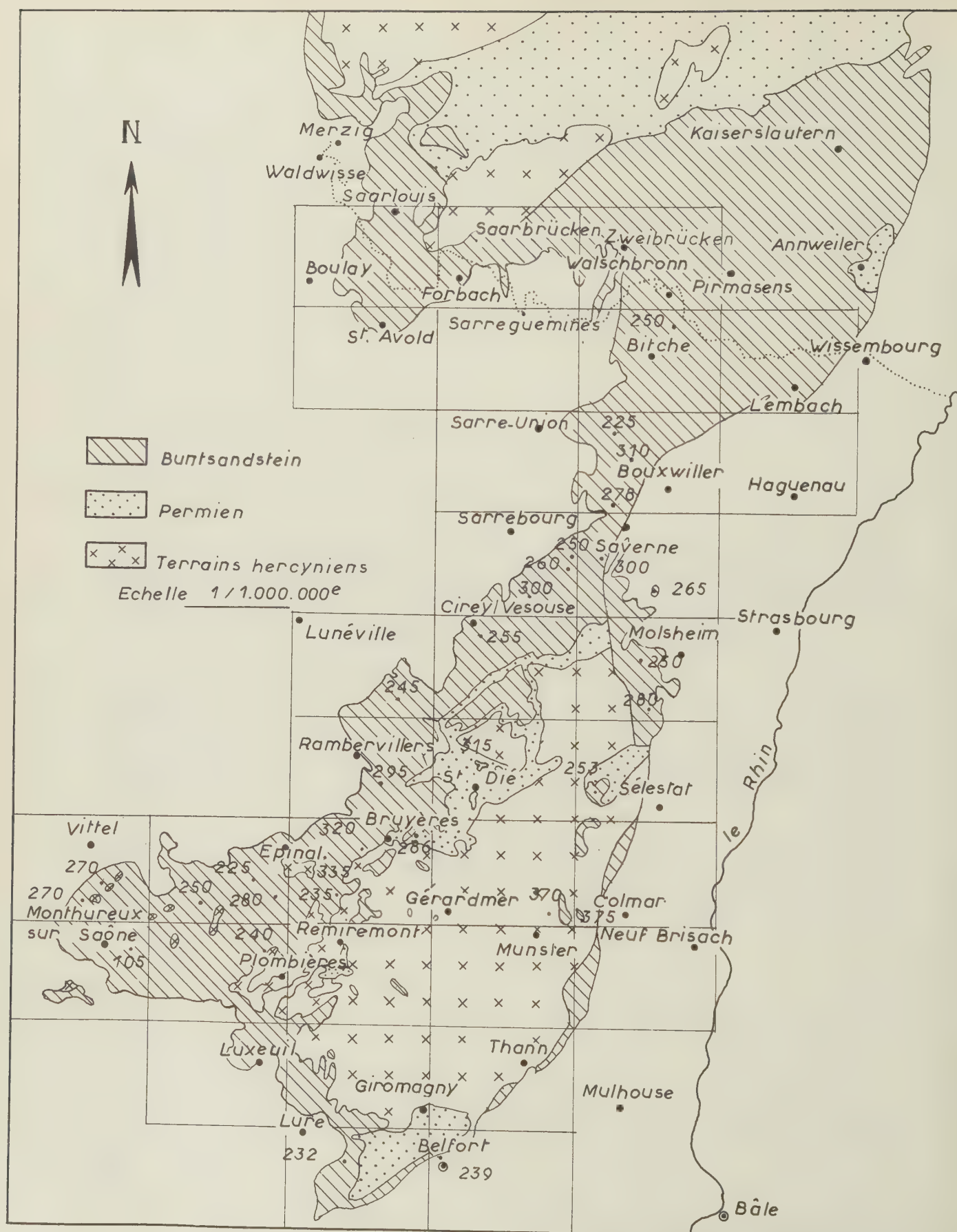


FIG. 14. — Variations géographiques de l'indice d'éroussé des galets du Conglomérat principal

TABLEAU XXII

*Indices d'éroussé, d'aplatissement et de dissymétrie des galets du Conglomérat principal
des Couches intermédiaires inférieures et du Conglomérat inférieur :
Classement géographique des affleurements du Nord au Sud*

n° échan- tillons	Localisation des échantillons	Indice d'émoussé			Indice d'aplatissement			Indice de dissy- métrie (médiane)
		Mé- diane	≤ 100 (en %)	≥ 500 (en %)	Rang 85	≤ 150 (en %)	≥ 250 (en %)	
CONGLOMERAT PRINCIPAL								
1	Bitche NE	250	0	0	218	14	4	640
2	Bouxwiller NW	225	0	4	200	26	4	720
3	Bouxwiller SW	310	2	6	205	14	2	635
4	Bouxwiller SW	278	0	2	220	26	8	655
5	Sarrebourg NE	250	0	4	190	23	0	680
6	Sarrebourg NE	260	4	8	200	30	0	690
7	Sarrebourg SE	300	0	8	195	28	4	620
8	Saverne NW	300	0	2	199	26	2	630
9	Saverne SE	265	0	1	192	29	0	650
10	Molsheim NW	250	0	2	198	20	0	610
11	Molsheim SE	280	0	0	187	28	0	660
12	Selestat SW	253	6	4	200	34	4	640
13	Gérardmer SE	370	0	16	235	16	12	600
14	Colmar SW	375	0	16	205	26	0	650
15	Cirey Vezouse NW	255	2	8	210	23	2	630
16	Lunéville SE	245	4	3	215	27	3	690
17	Saint-Dié SW	315	0	2	185	40	0	630
18	Rambervillers SE	295	3	9	215	32	5	650
19	Bruyères NE	291	1	7	205	27	2	650
20	Bruyères NE	286	1	10	212	33	3	660
21	Bruyères NW	320	0	6	185	30	0	590
22	Bruyères NW	335	0	12	195	39	2	630
23	Bruyères SW	235	1	3	100	41	2	720
24	Epinal SE	280	0	2	215	21	6	680
25	Epinal SE	225	3	6	205	39	7	660
26	Epinal SW	250	3	6	200	29	3	660
27	Vittel SE	270	7	2	195	45	4	670
28	Vittel SE	270	3	4	215	20	5	640
29	Monthureux-sur-Saône NE	105	44	0	192	38	2	580
30	Plombières NE	240	4	8	195	26	2	650
31	Lure NW	232	12	4	210	40	2	640
32	Belfort NW	239	2	6	185	36	2	670
CONGLOMERAT INFÉRIEUR								
33	Lembach SW	257	2	4	215	18	4	620
34	Bruyères NE	285	4	2	175	60	0	630
COUCHES INTERMÉDIAIRES INFÉRIEURES								
35	Bitche NW	210	12	2	212	24	4	680
	Cirey Vezouse NW	187	10	1	204	30	8	630
	Epinal SW	192	15	0	187	35	15	650
36	Monthureux-sur-Saône NE	169	12	0	200	42	10	700

Nous avons classé ces chiffres de deux manières différentes :

— Tableau XXII, 1^{re} colonne : classement géographique du N au S;

— Tableau XXIII : classement par ordre des valeurs croissantes de l'indice d'émoussé.

Enfin sur une carte générale (fig. 14) nous avons situé chaque chiffre à l'emplacement de l'affleurement qu'il représente.

n° des échantillons	Indice d'émoussé			n° des échantillons	Indice d'aplatissement			n° des échantillons	Indice de dissymétrie (médiane)
	Mé-diane	≤ 100 (en %)	≥ 500 (en %)		rang 85	≤ 150 (en %)	≥ 250 (en %)		
29	105	44	0	21	185	30	0	29	580
25	225	3	6	32	185	36	2	21	590
2	225	0	4	17	185	40	0	13	600
31	232	12	4	11	187	28	0	10	610
23	235	1	3	23	190	41	2	7	620
32	239	2	6	5	190	28	0	8	630
30	240	4	6	29	192	38	2	15	630
16	245	4	3	9	192	29	0	17	630
26	250	3	6	27	195	45	4	22	630
10	250	0	2	22	195	39	2	3	635
5	250	0	4	7	195	28	4	1	640
1	250	0	0	30	195	26	2	12	640
12	253	6	4	10	198	20	0	28	640
15	255	2	8	8	199	26	2	31	640
6	260	4	8	12	200	34	4	9	650
9	265	0	1	6	200	30	0	14	650
27	270	7	2	26	200	29	3	18	650
28	270	3	4	2	200	26	4	19	650
4	278	0	2	25	205	39	7	30	650
24	280	0	2	14	205	26	0	4	655
11	280	0	0	19	205	27	2	11	660
20	286	1	10	3	205	14	2	20	660
19	291	1	7	31	210	40	2	25	660
18	295	3	9	15	210	23	2	26	660
7	300	0	8	20	212	33	3	27	670
8	300	0	2	16	215	27	3	32	670
3	310	2	6	18	215	32	5	5	680
17	315	0	2	24	215	21	6	24	680
21	320	0	6	28	215	20	5	6	690
22	335	0	12	1	218	14	4	16	690
13	370	0	16	4	220	26	8	2	720
14	375	0	16	13	235	16	12	23	720

TABLEAU XXIII

*Indice d'émoussé
des galets
du conglomérat principal*

TABLEAU XXIV

*Indice d'aplatissement
des galets
du conglomérat principal*

TABLEAU XXV

*Indice de dissymétrie
des galets
du conglomérat principal*

Classement par ordre des valeurs croissantes des indices

Le tableau XXIII permet un jugement d'ensemble sur cet indice d'émoussé : les médianes oscillent entre deux valeurs extrêmes 105 et 375, autour d'une valeur moyenne 270. Pour ces mêmes valeurs, le pourcentage des galets très usés, c'est-à-dire ceux dont l'indice d'émoussé est supérieur ou égal à 500, passe de 0 % à 16 % et celui des galets peu usés, c'est-à-dire ceux dont l'indice d'émoussé est inférieur ou égal à 100, passe de 44 % à 0 %. L'ensemble de ces résultats permet d'évoquer une usure, donc un transport, de type fluvial; mais ce résultat global doit cependant être nuancé comme nous allons le voir dans un instant.

Le tableau XXII (1^{re} colonne) et la carte (fig. 14) indiquent clairement qu'il serait illusoire d'essayer de déduire de ces chiffres une usure croissante des galets dans une direction ou dans une autre et, à partir de cette usure, de vouloir déduire un sens d'écoulement des cours d'eau transporteurs.

Ces résultats globaux doivent donc être nuancés; c'est pourquoi, pour chaque lot étudié, nous avons construit une *courbe cumulative* : en abscisse nous avons porté les valeurs croissantes de l'indice d'émoussé de chacun des 100 galets étudiés et en ordonnée le pourcentage cumulé des galets. Toutes les courbes obtenues ont été groupées sur les figures 15 A, B, C, et leurs numéros sont ceux des échantillons cités dans les tableaux XXII à XXV.

Cette représentation permet de classer les galets du Conglomérat principal en trois catégories :

α) *Les galets à courbe unimodale* (fig. 15 A).

Ce cas est fréquent; ces courbes traduisent l'homogénéité du matériau et par conséquent une unité dans sa provenance.

— *Courbe 29 (Claudon, feuille de Monthureux-sur-Saône NE)*; elle dénote un apport massif de galets d'origine très locale (indice d'émoussé situé entre 50 et 150); joint à l'aspect « en vrac » des galets à l'affleurement, cette abondance permet d'envisager un transport qui n'excède pas une vingtaine de kilomètres, effectué sur pente raide, laissant supposer une région d'origine à relief important. Ce lieu étant le seul à présenter ces caractères (p. 138 et fig. 18), on peut évoquer un inselberg pour cette région d'origine.

De toute façon, ceci indique la proximité d'un continent et cadre très bien avec l'hypothèse déjà évoquée par R. BRINKMANN (1925) d'un « *Gallisches Land* » ou *Continent Gaulois* situé à l'W des actuels affleurements du Buntsandstein, entre le Massif Central et les Ardennes. Personnellement (p. 198) je serais enclin à placer une partie de ce continent — sinon la totalité — à l'emplacement actuellement occupé par le seuil morvano-vosgien et à en faire venir la plus grande partie des matériaux du Buntsandstein.

— *Courbe 28 (Bleurville, feuille de Vittel SE)*; cette courbe prouve un apport important de matériaux peu usés (Ie entre 150 et 300) de provenance assez rapprochée (1) qui se joint à un apport plus lointain mais peu abondant (Ie vers 400 et 500).

— *Courbes 11, 12, 16, 18 et 26* : Toutes ces courbes sont très semblables entre elles : les indices d'émoussés s'étalent entre 100-150 et 400-500, autour de médiane situées entre 250 et 275 : *sédiment fluviatile homogène*.

β) *Les galets à courbe bimodale* (fig. 15 B).

On peut les classer en deux sous-groupes :

— *Les galets provenant de deux origines différentes mélangés en proportion sensiblement égale*; les courbes 2, 3, 5 et 20 en constituent une bonne illustration : à un matériau d'origine lointaine (Ie situé entre 325-350 et 500-550) s'adjoint un matériau d'origine plus proche (Ie situé entre 125-150 et 220-300).

— *Courbes 8, 14, 17* : Les sédiments représentés par ces courbes sont formés en grande partie par un matériau très évolué d'origine lointaine dont l'usure est notable (Ie étalé entre 275-300 et 450-500); il s'y adjoint en faible proportion un matériau local peu évolué, à usure faible (Ie situé entre 125-150 et 200-250).

γ) *Les galets à courbe plurimodale* (fig. 15 C).

Ces sédiments sont formés par la réunion de matériaux d'origine très diverse. Le sédiment n° 30 en est un bon exemple : il est constitué par un important matériau peu usé (Ie compris entre 200 et 250) auquel s'adjoint un petit apport très peu usé (Ie : 100 à 150), un deuxième apport un peu plus usé (Ie : 300-350) et enfin un apport lointain peu abondant (Ie : 350-400).

Les courbes 1, 6 et 32 sont du même style.

δ) *Conclusion à l'étude de l'indice d'émoussé des galets du Conglomérat principal.*

L'indice d'émoussé permet d'évoquer un transport de type fluviatile et de déterminer le degré d'éloignement du lieu d'origine des sédiments du Conglomérat principal.

(1) Quand nous disons « rapprochée » il faut cependant penser à une provenance d'une cinquantaine de kilomètres.

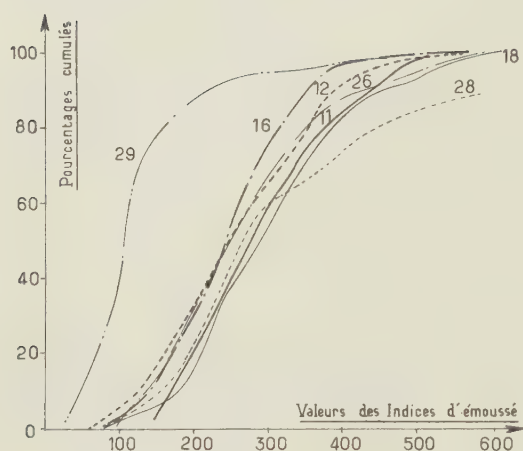


FIG. 15 A

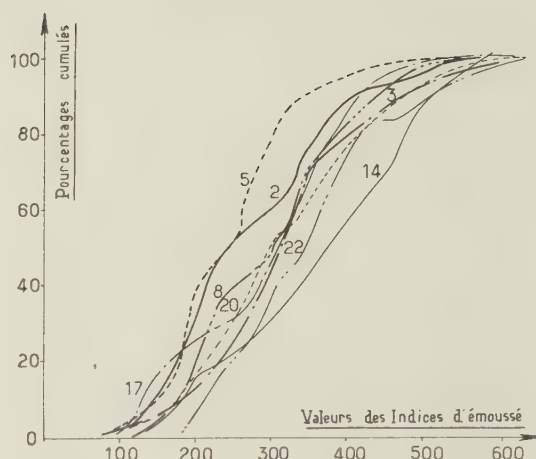


FIG. 15 B

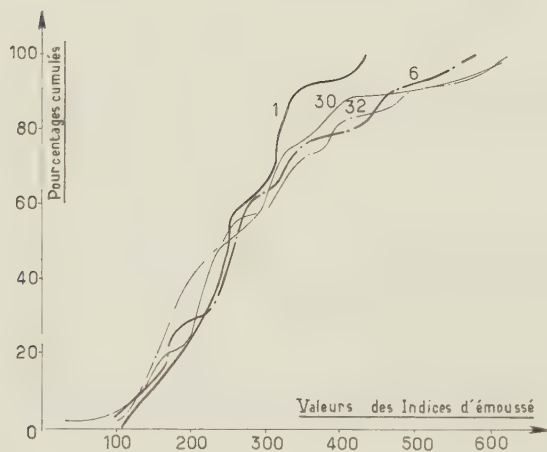


FIG. 15 C

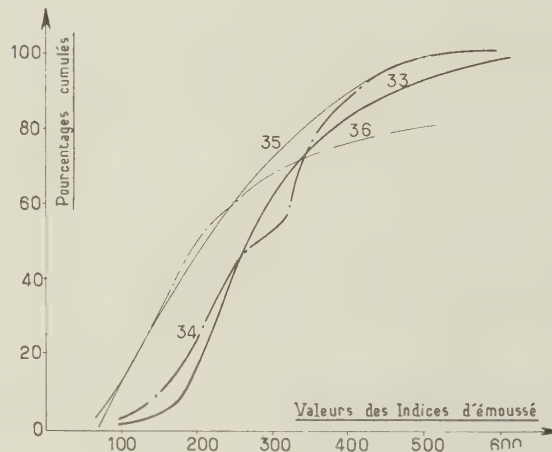


FIG. 15 D

FIG. 15. — Représentation sous forme de courbes cumulatives des indices d'émoussé des galets (les détails sur le mode de construction de ces courbes sont fournis page 230).

- A. - Conglomérat principal : courbes unimodales.
- B. - Conglomérat principal : courbes bimodales.
- C. - Conglomérat principal : courbes plurimodales.
- D. - 33 et 34 : Conglomérat inférieur.
- 35 et 36 : Couches intermédiaires inférieures.

En certains lieux, ces sédiments sont homogènes et leur lieu d'origine est unique; si leur émoussé est très faible, ce lieu d'origine est proche; si leur émoussé est fort, ce lieu d'origine est lointain et, sur le trajet, aucun apport parasite n'est venu troubler cette homogénéité.

En d'autres lieux, ces sédiments sont hétérogènes et leur origine est multiple : aux matériaux lointains se joignent des matériaux locaux.

b) *Indice d'aplatissement.*

Pour chaque lot, le chiffre cité correspond à la valeur de rang 85 des indices d'aplatissement $\frac{L + l}{2E} \times 100$. Comme précédemment, nous avons classé ces chiffres de deux manières différentes :

- Tableau XXII, 2^e colonne : classement géographique du N au S;
- Tableau XXIV : classement par ordre des valeurs croissantes de l'indice d'aplatissement.

Enfin, sur une carte générale (fig. 16), nous avons situé chaque chiffre à l'emplacement de l'affleurement qu'il représente.

Du tableau XXIV, il ressort que les valeurs de l'indice d'aplatissement oscillent entre 185 et 235 autour d'une valeur moyenne de 200. D'autre part, dans chaque lot, le pourcentage des galets aplatis (indice supérieur ou égal à 250) est très faible : 0 à 8 %, avec une valeur moyenne de 2 %; mais en revanche, le pourcentage des galets peu aplatis (indice inférieur ou égal à 150) est très fort : de 150 à 45 % avec une valeur moyenne de 28 %.

Comparés aux chiffres fournis par les géographes qui étudient les formations graveleuses actuelles, nos chiffres indiquent un **façonnement et un transport fluvial du type « cours d'eau à chenaux divagants »**. Mais s'étendant de 185 à 235, nos valeurs de l'indice d'aplatissement sont trop fortes pour des cours d'eau torrentiels coulant sur la roche en place; elles évoquent plutôt des **cours d'eau « matelassés »** qui coulent sur des épandages déjà existant; ceci est d'ailleurs confirmé par l'aspect du Conglomérat principal dont les galets sont noyés dans une forte quantité de sable.

Pas plus que pour l'indice d'émoussé il n'est possible de déduire du tableau XXII et de la carte (fig. 16) une direction des courants d'usure, ni un sens d'écoulement des cours d'eau.

c) *Indice de dissymétrie.*

Pour chaque lot, le chiffre cité correspond à la valeur médiane (rang 50) des indices de dissymétrie $\frac{AC}{L} \times 1000$.

Comme dans les deux cas précédents, nous avons classé ces chiffres de deux manières différentes :

- Tableau XXII, 3^e colonne : classement géographique du N au S;
- Tableau XXV : classement par ordre des valeurs croissantes de l'indice de dissymétrie.

Enfin, sur une carte générale (fig. 17) nous avons situé chaque chiffre à l'emplacement de la valeur qu'il représente.

Ces valeurs oscillent entre 580 et 720 autour d'une valeur moyenne de 650. Elles indiquent de façon manifeste une usure et un mode de transport de type fluvial, parfois torrentiel.

Mais, pas plus que pour les deux indices précédents, il n'est possible de mettre en évidence une quelconque direction des courants.

d) *Représentation conjuguée de deux indices.*

Suivant une méthode préconisée par J. TRICART, nous avons conjugué sur un même graphique (fig. 18) les médianes d'indice d'émoussé (portées en abscisses) et les valeurs de rang 85 de l'indice d'aplatissement (portées en ordonnées). Cette représentation ne nous a pas non plus permis de dégager un courant ayant une certaine direction; s'il en avait été ainsi et dans l'hypothèse d'un courant dirigé dans le sens SW-NE, les numéros — qui sont classés géographiquement du NNE au SSW de 1 à 32 — auraient été alignés suivant un axe NE-SW. Or ce n'est pas le cas, car sur la fig. 18 les numéros d'échantillons sont disposés sans ordre.

En revanche, cette représentation montre un excellent groupement des points dans une zone qui caractérise généralement des types d'usure fluvial.

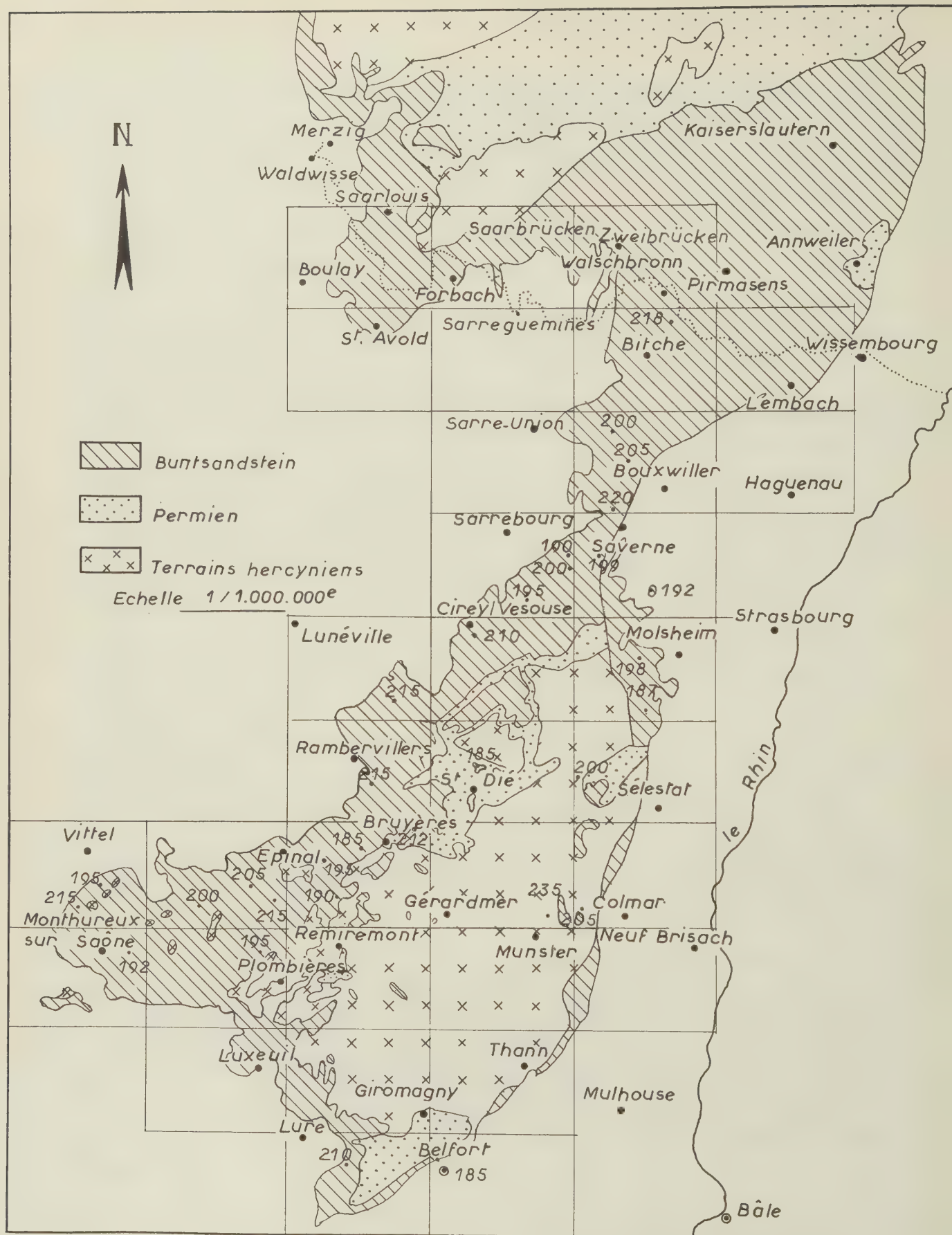


FIG. 16. — Variations géographiques de l'indice d'aplatissement des galets du Conglomérat principal

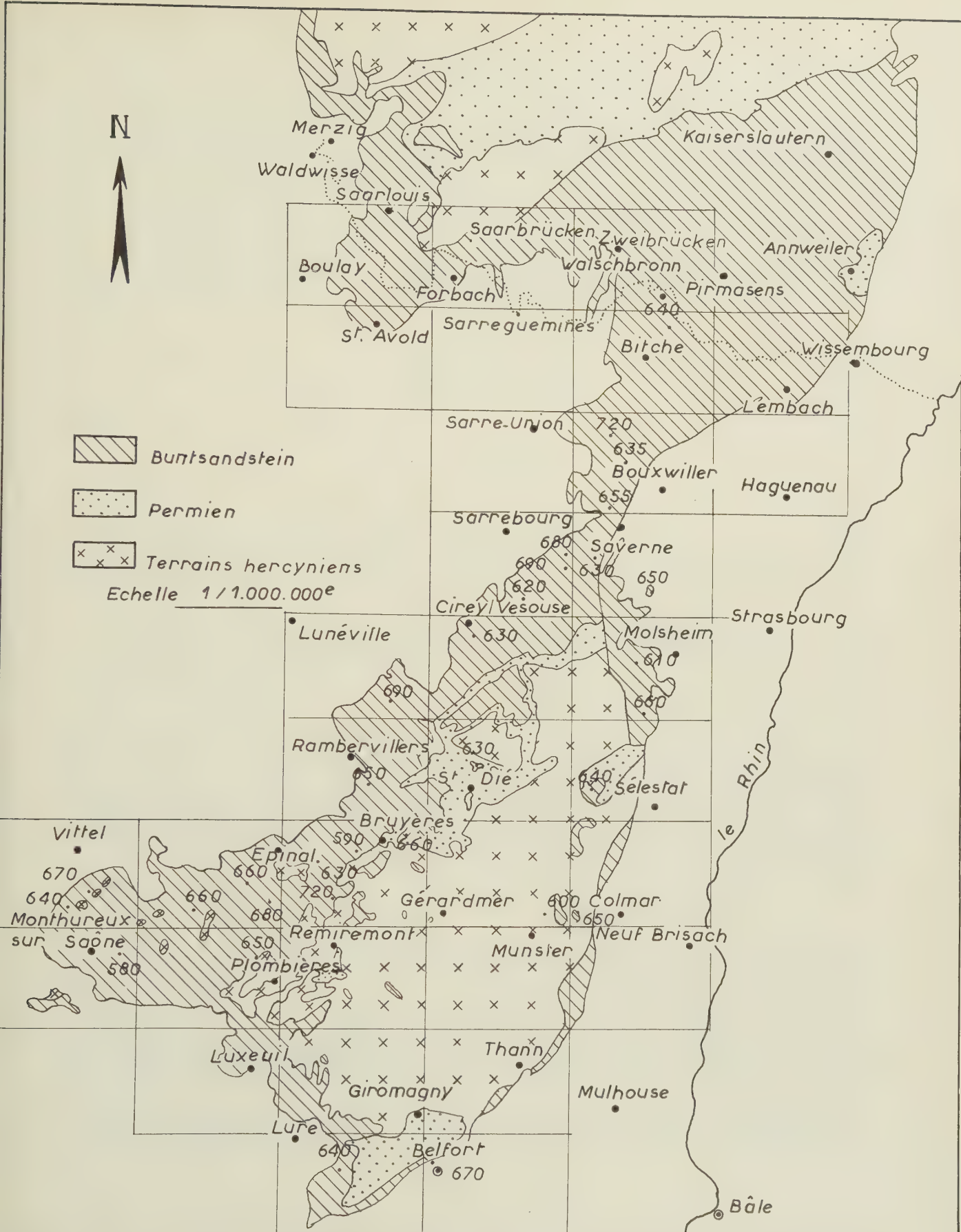


FIG. 17. — Variations géographiques de l'indice de dissymétrie des galets du Conglomérat principal

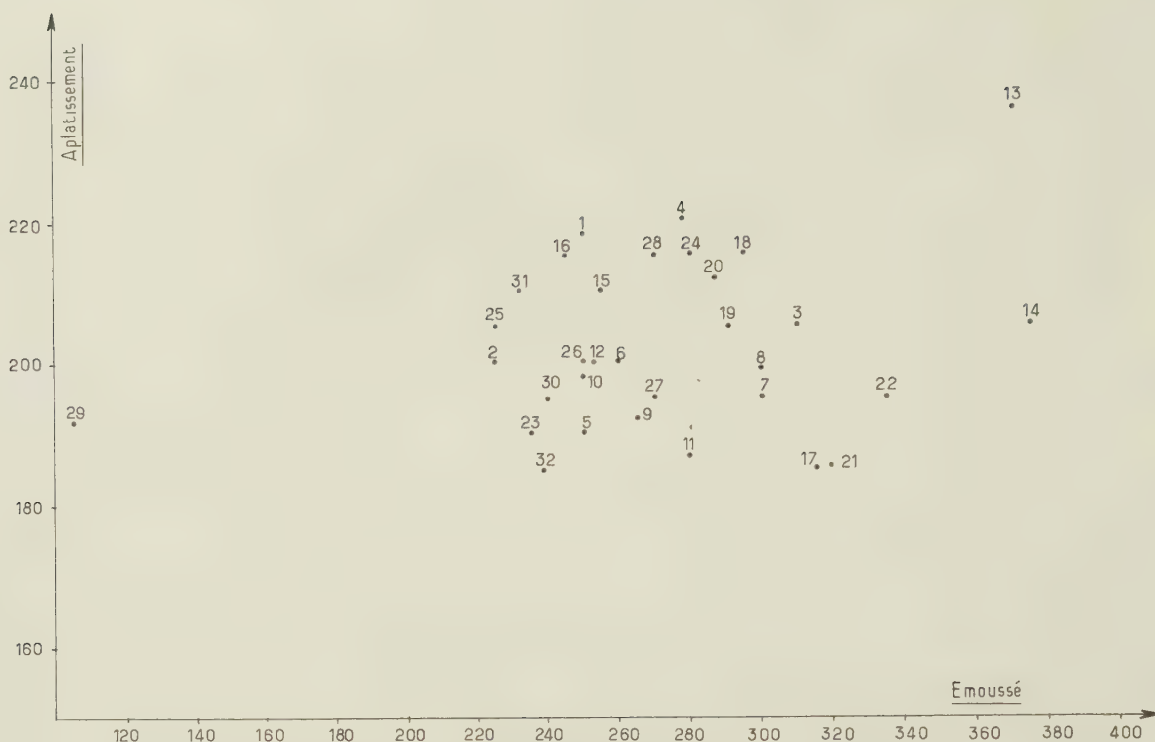


FIG. 18. — Représentation conjuguée des indices d'émoussé et des indices d'aplatissement des galets du Conglomérat principal :
 — abscisses : valeurs croissantes des médianes des indices d'émoussé.
 — ordonnées : valeurs croissantes de rang 85 des indices d'aplatissement.

Cependant trois points font exception :

— le point 29, feuille de Monthureux-sur-Saône, quart NE) : il se trouve dans une zone caractérisée généralement par des types d'usure dûs à des torrents qui ne sont encore qu'à quelques kilomètres de leur source; ceci confirme ce que nous avons déjà vu page 133;

— les points 13 (*Grand Hohnack*, feuille de Gérardmer, quart SE) et 14 (*Le Gras*, feuille de Colmar, quart SW) : ils sont situés dans une zone caractérisée généralement par des types d'usure très évolués, fournis par les fleuves après un important trajet. Ceci encore confirme ce que nous avons dit page 133.

2° Les galets du Conglomérat inférieur.

Les indices d'émoussé, d'aplatissement et de dissymétrie (tableau XXII) sont très voisins de ceux des galets du Conglomérat principal de la même région. Sur la figure 15 D, les courbes 33 et 34 facilitent l'interprétation des données numériques :

— *Courbe 33* (*Windstein*, feuille de Lembach SW) : cette courbe unimodale traduit une parfaite homogénéité des galets et par conséquent un unique lieu d'origine.

— *Courbe 34* (*Bruyères*, feuille de Bruyère NE) : cette courbe est typiquement bimodale : à un apport lointain (le compris entre 325 et 600) s'ajoute un apport local (le compris entre 100 et 250) confirmé par la présence de grands cristaux d'orthose non usés (cf. p. 41).

Le Conglomérat inférieur fut vraisemblablement déposé dans les mêmes conditions que le Conglomérat principal.

3° Les galets des Couches intermédiaires inférieures (tableau XXII).

L'émousé et l'aplatissement sont nettement plus faibles que dans le Conglomérat principal; ceci provient sans doute de ce que les galets des Couches intermédiaires ont d'abord été façonnés par le vent (p. 70) qui a produit des galets épais et polyédriques, à arêtes aiguës, fournissant de faibles indices d'émousé et d'aplatissement.

Les données conjuguées de la morphométrie et de la morphoscopie permettent de conclure à un **façonnement éolien suivi d'un remaniement fluvatile peu intense.**

De plus, les courbes 35 et 36 de la figure 15 D illustrent bien l'unité d'origine de ces galets; ce caractère, que nous avons observé partout, contribue à nous faire avancer qu'à l'époque des couches intermédiaires la sédimentation fut plus générale et uniforme qu'au cours des périodes précédentes

II. — ETUDE DU CENTILE

A. — METHODE

La méthode est exposée en détail par J. TRICART et A. CAILLEUX (1953) et reprise dans l'ouvrage général écrit par ces auteurs (A. CAILLEUX et J. TRICART, 1959).

Le but premier cherché dans cette méthode fut de mesurer la *grossièreté des éléments* d'une même formation en divers points et de comparer les variations de cette grossièreté sur toute l'étendue des Vosges Gréseuses.

Le but second fut la *recherche de la compétence* des cours d'eau transporteurs.

Nous avons donc appliqué cette méthode suivant les indications de ses auteurs, mais en l'adaptant à nos besoins; voici comment nous avons procédé : devant un affleurement suffisamment vaste de conglomérat, nous choisissons le plus gros galet, mesurons sa surface (1) et calculons la valeur a du côté du carré ayant une surface équivalente à celle du galet; puis, sur l'affleurement nous traçons côte à côte dix carrés de côté égal à $10a$ (ou dix rectangles de surface équivalente à celle du carré de côté $10a$) et dans chaque carré (ou rectangle) nous prélevons le plus gros galet. Chacun de ces dix galets est mesuré (longueur, $(L + l + E)$

largeur, épaisseur, surface, poids); la dimension totale $(L + l + E)$ et la dimension moyenne $\frac{L + l + E}{3}$ sont calculées et, à titre complémentaire, les indices d'émousé et d'aplatissement. Puis nous classons ces dix galets (ou leurs mesures) par ordre de taille décroissante et nous choisissons le galet médian (c'est-à-dire le cinquième) comme le représentant en ce lieu de la grosseur maximale moyenne des galets; nous l'appelons le « **plus gros galet moyen** »; le choix du cinquième galet plutôt que du premier est dicté par le souci d'éliminer de notre étude les effets de crues exceptionnellement fortes qui ne seraient pas représentatives de la compétence moyenne du cours d'eau étudié.

A titre d'exemple, nous citons dans le tableau XXVI le résultat des mesures effectuées à quelques kilomètres au SW de Bruyères, à *Lépanges* (lieudit la Haute Verrière; feuille de Bruyères, quart n° 3; 1,9 km NNW de l'église; x : 420,05; y : 155,05 (*).

Ce tableau inspire les remarques suivantes :

1) La grosseur d'un galet est mieux reflétée par son poids et par sa dimension moyenne $\frac{(L + l + E)}{3}$ que par sa seule longueur.

2) Le premier galet est visiblement exceptionnel; le galet médian (galet 5) est mieux représentatif de l'ensemble de l'affleurement.

Au total 42 affleurements ont été étudiés dans le Conglomérat principal, 4 dans les grès à galet des Couches intermédiaires et 2 dans le Conglomérat inférieur. Dans l'exposé des faits qui va suivre et dans le tableau XXVII nous ne citerons, pour chacun de ces points, que le premier galet (plus gros galet) et le cinquième galet (« plus gros galet moyen »).

(1) En dessinant le contour du galet sur un papier centimétré et en comptant les centimètres carrés inscrits à l'intérieur de ce périmètre.

TABLEAU XXVI

Méthode du centile; exemple de mesures effectuées sur un lot de dix galets à Lépages (Vosges)

Numéro des galets	L (en mm)	l (en mm)	E (en mm)	L + l + E (en mm)	$\frac{L+l+E}{3}$ (en mm)	P (en gr)	S (en cm)	r ¹ (en mm)	$\frac{2r^1}{L}$	$\frac{L+l}{2E}$
1	270	145	130	545	182	7 450	290	48	355	159
2	220	135	130	485	162	4 400	233	26	236	136
3	240	135	85	460	153	4 025	252	30	250	220
4	245	125	80	450	150	3 525	244	30	244	217
5	180	135	120	435	145	3 500	167	32	355	131
6	230	100	55	385	128	2 075	178	20	173	300
7	170	110	80	360	120	2 000	148	37	435	174
8	160	125	70	355	118	1 975	143	20	258	203
9	155	105	90	350	117	1 775	140	20	258	144
10	150	120	70	340	113	1 600	140	21	280	195

B. — LES FAITS ET LEUR INTERPRETATION

1° Le Centile des galets du Conglomérat principal.

Le tableau XXVII fait état des caractéristiques du *plus gros galet* et du *plus gros galet moyen* de 38 affleurements classés géographiquement du N au S.

Sur une carte (fig. 19), nous avons situé ces divers affleurements en indiquant pour chacun d'eux les trois principales caractéristiques du *plus gros galet moyen*, à savoir :

— la dimension moyenne : $\frac{(L + l + E)}{3}$, en millimètres;

— le poids en grammes;

— la surface en centimètres carrés.

Ainsi vers Belfort, le *plus gros galet moyen* a pour caractéristiques :

— une dimension moyenne égale à 65 mm;

— un poids égal à 250 g;

— une surface égale à 41 cm².

Un simple regard sur ce tableau et sur cette carte permet de constater :

— que la dimension moyenne d'un galet est sensiblement proportionnelle au poids de ce galet;

— que les *plus gros galets* sont situés dans la région de Darney, et qu'à partir de cette région, la grosseur des galets diminue suivant deux directions : d'une part vers le N et vers l'E et d'autre part vers le SE. On peut donc entrevoir dans quel sens s'effectuait l'usure, la fragmentation et l'abandon des galets, ce qui permet de déduire le *sens général des courants ayant déposé cette nappe de cailloutis* : du SW vers le NE au N du parallèle de Darney et du NE vers le SW au S de ce parallèle; on peut également déterminer des courants secondaires issus de ces deux courants principaux; l'un de ceux-ci se manifeste dans la région de la Montagne d'Ormont (NE de Saint-Dié) et il est confirmé par l'étude des stratifications : détaché du courant principal, il est dirigé suivant un axe NW-SE.



FIG. 19. — Variations géographiques du centile du « plus gros galet moyen » du Conglomérat principal :

- le premier chiffre indique la dimension moyenne (en m).
- le deuxième chiffre indique le poids (en gr).
- le troisième chiffre indique la surface (en cm²).

TABLEAU XXVII

*Etude du Centile appliquée aux galets du Conglomérat principal,
des Couches intermédiaires inférieures et du Conglomérat inférieur*

NOTA : Pour chaque affleurement cité, nous n'avons fait état que du plus gros galet et du « plus gros galet moyen » (galet de rang 5 sur un ensemble de 10 galets).

Localité	Carte au 1/50 000ème	L (en mm)	l (en mm)	E (en mm)	L+l+E (en mm)	$\frac{L+l+E}{3}$ (en mm)	P (en gr)	S (en cm ²)	r ¹ (en mm)	$\frac{2r^1}{L}$	$\frac{L+l}{2E}$
I - CONGLOMERAT PRINCIPAL											
Liéderschiedt	Bitche NE	135 110	70 60	50 45	255 215	85 72	705 420	72 50	22 18	327 329	205 190
Volksberg	Bouxwiller NW	110 60	60 44	50 42	220 146	73 49	400 150	53 20	7 5	128 204	170 126
La Petite Pierre	Bouxwiller SW	90 80	40 85	32 35	162 150	54 50	175 140	38 24	9	229	200
Danne-et-Quatre-Vents	Bouxwiller SW	125 85	65 55	50 50	240 190	80 63	565 310	66 36	32 9	515 215	190 142
Lutzelbourg	Saverne NW	95 76	55 47	36 36	186 159	62 53	255 170	42 36	9 12	190 330	210 173
Saint-Jean-Saverne	Saverne NW	180 110	85 55	65 35	330 200	110 67	1 150 255	110 59	18 9	202 165	205 237
Le Brotschberg	Saverne NW	165 128	70 48	70 45	305 221	102 74	1 185 400	101 49	24 14	294 220	168 195
Marlenheim (le Krontal)	Saverne SE	110 85	65 65	55 45	230 195	77 65	550 300	54 37	10 14	183 334	160 168
Château de Ringelstein	Molsheim NW	110 80	50 60	45 45	205 185	68 62	455 245	49 36	15 7	278 175	178 157
Niederhaslach (Rocher du corbeau)	Molsheim NW	130 90	85 60	65 45	280 195	93 65	840 290	80 41	22 8	340 180	165 168
Boersch	Molsheim SE	95 90	63 55	46 50	204 195	68 65	305 280	48 37	16 9	340 202	173 147
La Vancelle (Rocher du Coucou)	Sélestat SW	110 115	70 60	62 55	242 230	81 77	565 420	54 50	16 16	291 278	146 152
Labaroche (Le Grand Hohnack)	Gérardmer SE	140 125	107 58	75 48	320 231	107 77	1 135 455	111 60	14 15	202 243	164 192
Labaroche (Le Gras)	Colmar SW	150 120	80 75	80 40	310 235	103 78	1 475 450	94 64	32 15	430 250	143 245
Saint-Louis	Sarrebourg NE	130 105	90 47	62 45	282 197	94 66	930 365	86 42	22 6	340 115	177 170
Hommert	Sarrebourg NE	125 90	75 55	65 55	265 200	88 67	950 350	75 38	14 20	226 449	153 135
Walscheid-Saint-Léon	Sarrebourg SE	155 140	70 60	70 60	295 260	98 87	1 180 740	95 72	16 14	207 202	161 165
Saint-Quirin	Sarrebourg SE	185 140	105 75	95 70	385 285	128 95	2 550 1 040	156 86	12 18	130 259	153 155
Val-et-Châtillon (Scierie)	Cirey-sur- Vézouse NW	165 170	90 80	70 50	325 300	108 100	1 440 1 000	115 110	30 18	365 213	183 250
Val-et-Châtillon	Cirey-sur- Vézouse NW	175 110	85 85	85 70	345 265	115 88	1 800 840	110 65	24 26	275 475	152 140
Baccarat (Humbepaire)	Lunéville SE	230 155	120 115	85 80	435 350	145 117	3 050 1 800	235 131			
La Chapelle	Lunéville SE	315 150	130 105	100 100	545 355	182 118	6 150 1 950	288 142			
Housseras (Les Angles)	Rambervillers SE	215 220	135 135	110 75	460 430	153 143	4 620 3 070	235 237	30 24	280 219	162 238
Montagne d'Ormont (Rocher du Hoff)	Saint-Die SW	150 120	85 100	68 50	303 270	101 90	1 180 800	96 86	18 22	242 368	173 220

Biffontaine	Bruyères NE	230 220	120 100	80	400	133	3 850 2 550	222 172			
Lépanges (La Haute Verrière)	Bruyères NW	270 180	145 185	130 120	545 435	182 145	7 450 3 500	290 167	48 32	355 355	159 131
Desvillers (La Folie-Finot)	Bruyères NW	275 185	165 130	115 90	555 405	185 135	6 025 3 325	368 190	52 34	378 370	191 174
Archette	Bruyères SW	195 180	150 120	120 85	465 355	155 118	6 800 2 525	242 152	62 30	635 400	145 159
Dounoux (Bois Hennotte)	Epinal SE	240 175	145 145	80 120	465 440	155 147	3 450 3 250		20	230	134
Charmois L'Orgueilleux	Epinal SW	310 195	155 140	110 95	575 430	192 143	7 800 3 340	386 195	36 16	232 165	211 177
Relanges	Vittel SE	265 195	142 170	135 120	542 485	180 161	8 000 6 250	325 278	55 40	415 412	150 152
Bleurville	Vittel SE	300 280	220 185	140 130	660 595	220 198	9 600 8 950	420 355	26 40	173 285	185 179
Claudon (Senennes)	Monthureux-sur-Saône NE	255 205	125 120	100 75	480 400	160 133	5 300 2 600	235 167	28 14	219 137	190 216
Bellefontaine (Le Blanc Murger)	Plombières NE	230 205	170 160	120 80	520 445	173 148	5 155 3 520	283 260	40 20	348 195	165 229
Thiefosse (Bois de Tonneux)	Remiremont SE	165 170	110 90	80 75	355 335	118 112	1 970 1 500	142 120	4 32	48 379	173 173
Mélieux	Giromagny SW	125 110	75 80	65 60	265 250	88 83	820 660	70 65			
Lomont	Lure NW	130 105	80 60	60 50	270 215	90 72	820 500	77 54			
Offemont (Fort de Roppe)	Belfort NW	100 90	65 60	60 38	225 188	75 63	490 250	48 41	20 18	400 400	
II - COUCHES INTERMEDIAIRES INFERIEURES											
Hottwiller	Bitche NW	42 35	27 30	20 12	89 77	30 26	21 14	6,5 7	2 7	95 400	173 250
Val-et-Châtillon	Cirey-Vezouse NW	48 29	32 23	25 11	105 63	35 21	41 9	9 5	3 2	125 140	160 236
Charmois-L'Orgueilleux	Epinal SW	33 26	22 20	20 15	75 61	25 20	16 8	4,5 4	3 1	182 76	140 150
Claudon	Monthureux-sur-Saône NE	56 26	38 25	36 18	130 69	43 23	78 12	13 4	2 5	171 400	130
III - CONGLOMERAT INFERIEUR											
Windstein	Lembach SW	70 41	44 27	37 20	151 88	50 29	135 27	21 9	9 5	257 245	155 170
Bruyères	Bruyères NE	130 115	105 93	80 68	315 276	105 92	1 375 1 125	96 80	25 12	385 210	154 150

On peut aussi constater que l'amenuisement des galets se fait plus rapidement de l'W vers l'E que du S vers le N : tout se passe comme si **un courant important se dirigeait du SW vers le NE**, tandis que des courants de plus faible force et incapables d'entraîner de gros galets se déplaçaient de l'W vers l'E : à la même latitude, on trouve en effet sur le versant alsacien des galets nettement moins gros que sur le versant lorrain; c'est peut-être l'indication qu'**entre Lorraine et Alsace se profilait une barrière (Seuil Vosgien ?)** qui réduisait la force des courants se dirigeant de l'W vers l'E.

2° Le Centile des galets des Couches intermédiaires inférieures.

Dans le tableau XXVII, nous citons les caractéristiques du plus gros galet et du *plus gros galet moyen* de quatre affleurements classés géographiquement du N au S. Si cette étude ne permet pas de déterminer un sens des courants, elle fournit en revanche un **bon critère de distinction entre le Conglomérat principal et les Couches intermédiaires inférieures** (cf. p. 69).

3° Le Centile des galets du Conglomérat inférieur.

La comparaison avec le Conglomérat principal fait apparaître une diminution de la taille maximale des galets du Conglomérat inférieur par rapport à celle des galets du Conglomérat principal. Ceci tient sans doute à une moindre compétence des cours d'eau à l'époque du Conglomérat inférieur qu'à celle du Conglomérat principal.

III. — ETUDE DE LA NATURE ET DE LA LONGUEUR MOYENNE DES GALETS

A. — METHODE

1° Longueur moyenne des galets.

Nous avons choisi la méthode la plus simple qui consiste à prélever tous les galets de longueur supérieure à 10 mm dans quelques kilogrammes de conglomérat à matrice friable, puis à aligner ces galets sur le sol, par ordre de taille, à les compter et à mesurer les caractéristiques du galet moyen (c'est-à-dire de rang $\frac{n}{2}$, n correspondant au nombre total des galets).

2° Nature pétrographique des galets.

La méthode employée est semblable à la précédente; elle consiste à noter la nature (quartz, quartzite, lydienne, granite, gneiss) de tous les galets alignés sur le sol et d'établir un pourcentage pour chaque catégorie.

Remarque : Pour les affleurements où le ciment du conglomérat est très dur, nous avons mesuré tous les galets inscrits à l'intérieur d'un carré de 50 × 50 cm et nous avons noté leur nature; nous avons ensuite confronté l'une et l'autre méthode sur plusieurs affleurements-témoins et avons constaté que leurs résultats étaient tout à fait comparables.

B. — LES FAITS :

NATURE ET LONGUEUR MOYENNE DES GALETS DU CONGLOMERAT PRINCIPAL

Nous connaissons déjà la nature des galets du Conglomérat principal (pp. 71, 86 et 105) :

- quartzites;
- quartz;
- lydiennes (peu nombreux);
- roches cristallines (peu nombreuses et seulement dans le SW des Vosges Gréseuses); et nous savons qu'il existe des variations dans la nature et dans la dimension moyenne de ces galets (p. 39); étudions les :

1° Variations dans la nature des galets du Conglomérat principal.

a) La proportion du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz varie avec la dimension moyenne des galets.

Ce fait est très général et a déjà été signalé en d'autres régions que la nôtre (J. TRICART, 1957, 1958; LIGUS, 1955); dans un banc où la dimension moyenne des galets est faible, la proportion des galets de quartzite est peu élevée tandis que celle des galets de quartz est forte; l'inverse se produit dans les bancs où les galets ont une forte dimension moyenne.

Parmi une foule d'autres, je citerai en exemple les escarpements de Conglomérat principal que l'on peut observer à l'E de *Frohmuhl* (feuille de Bouxwiller, quarts n° 1 et 2) :

- dans un banc où la longueur moyenne des galets est de 10 mm, la proportion quartzite/quartz est de 5/95;
- dans un banc où la longueur moyenne des galets est de 15 mm, cette proportion est de 30/70.

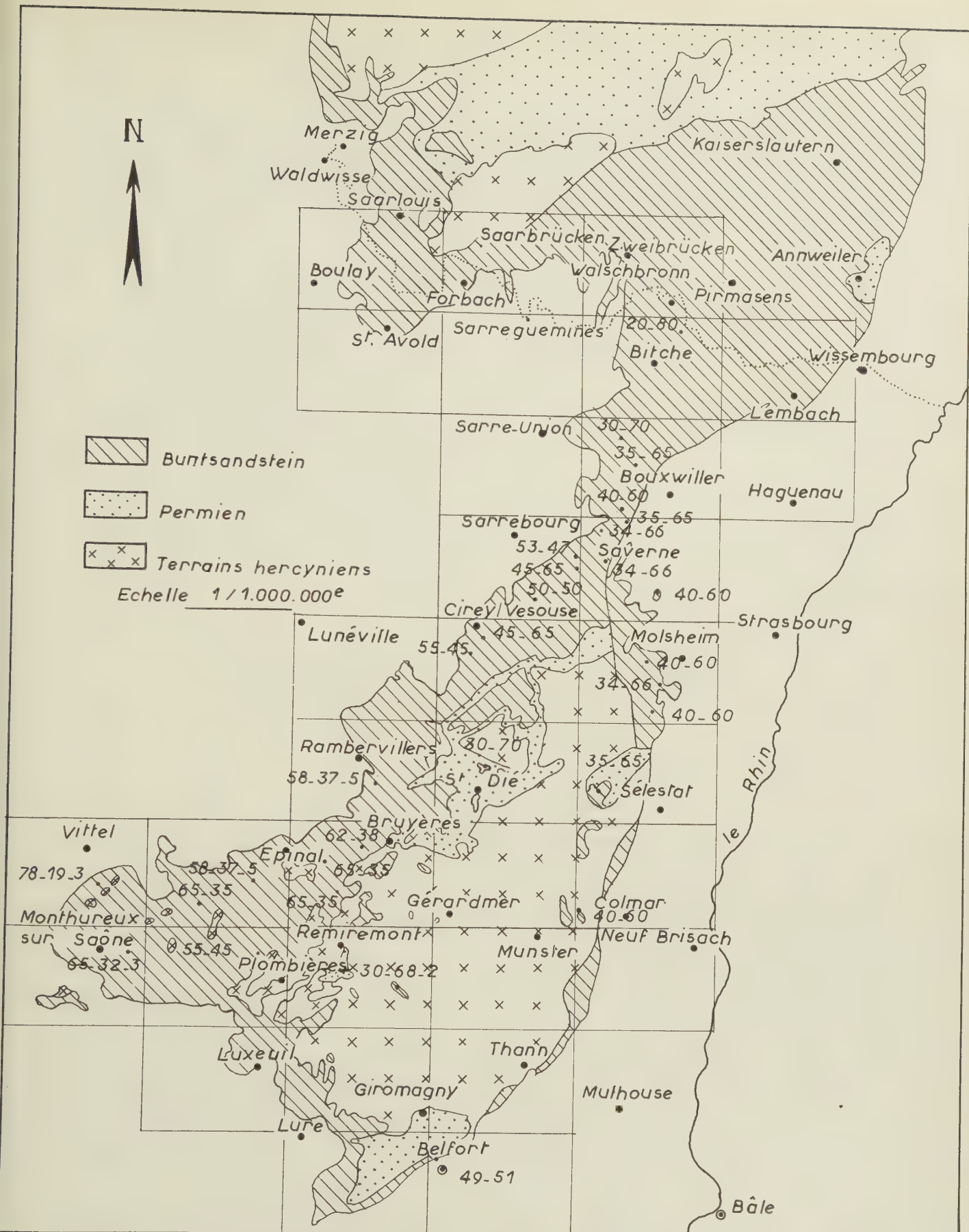


Fig. 20. — Variations géographiques de la nature des galets du Conglomérat principal :
 — le premier chiffre indique le pourcentage des galets de quartzite.
 — le deuxième chiffre indique le pourcentage des galets de quartz.
 — le troisième chiffre indique (éventuellement) le pourcentage des galets de lydienne, de granite et de gneiss.

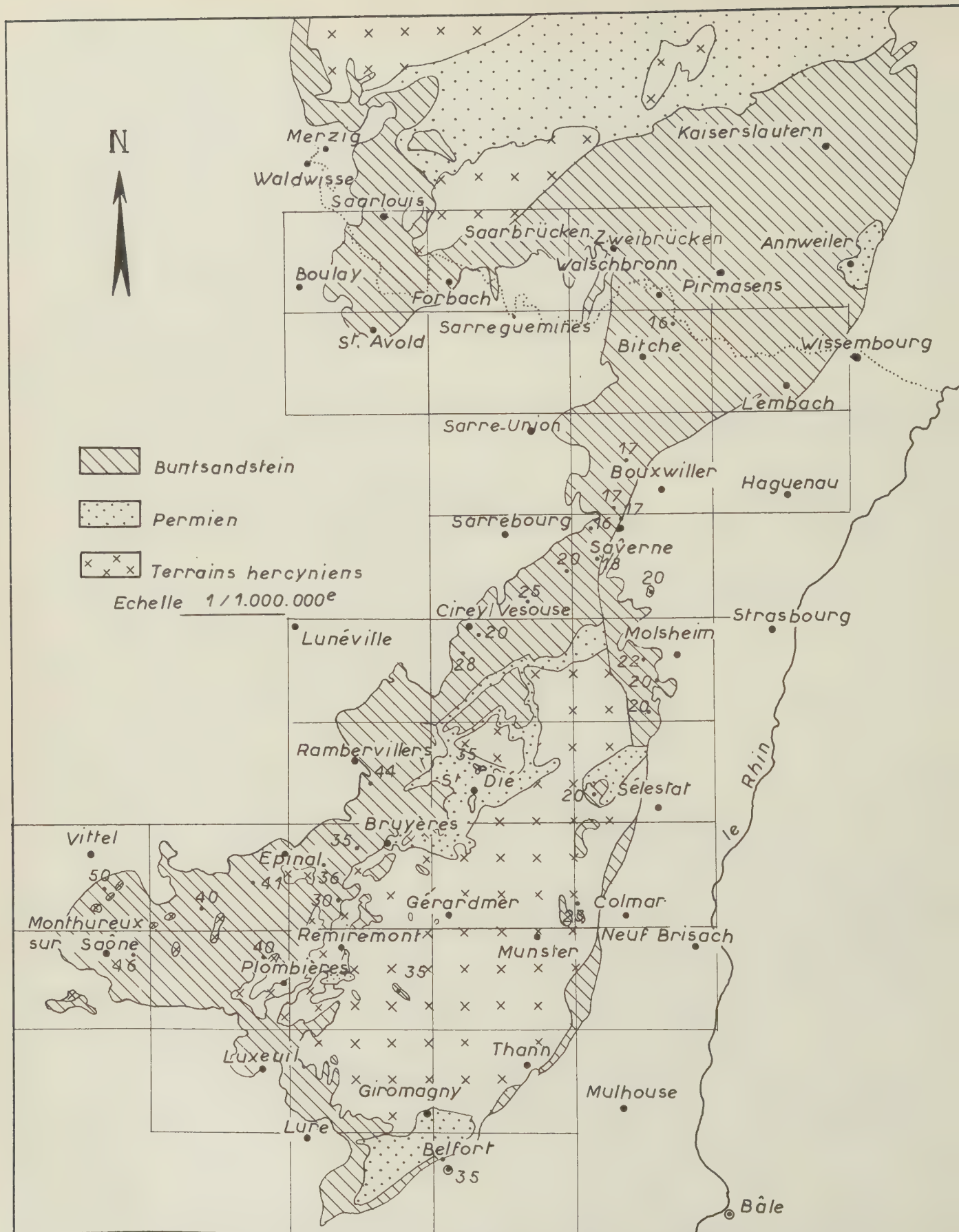


FIG. 21. — Variations géographiques de la longueur moyenne des galets du Conglomérat principal (en mm)

b) *La proportion du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz varie avec le lieu :*

Si, pour éliminer la variable précédente, on choisit toujours le banc le plus grossier d'un affleurement, on s'aperçoit que la proportion du nombre des galets de quartzite diminue lorsqu'on chemine du SW vers le NE tandis que celle du nombre des galets de quartz augmente (tableau XXVIII et fig. 20).

2° Variations de la dimension moyenne des galets du Conglomérat principal.

a) *La dimension moyenne des galets varie verticalement à l'échelle du banc :*

A un même affleurement, en un banc donné, la longueur moyenne des galets sera, par exemple, de 20 mm et, dans les bancs immédiatement sus et sous-jacents, la longueur moyenne pourra être de 15 mm (Saint-Quirin), ou encore de 15 mm et de 10 mm (Fromuhl).

Cette variation de la dimension moyenne des galets sur une même verticale est très désordonnée; cependant, on doit remarquer que, parfois à la base et très souvent au sommet, le Conglomérat principal présente des bancs de grès ne comportant que peu ou pas de galets : à la base sur quelques décimètres, au sommet sur un ou deux mètres.

b) *La dimension moyenne des galets varie horizontalement à l'échelle régionale.*

Sous réserve des mêmes conditions d'expérience (choix du banc le plus grossier dans un affleurement assez vaste de Conglomérat principal), on s'aperçoit que la dimension moyenne des galets diminue quand on se déplace du SW vers le NE. Le tableau XXVIII et la figure 21 constituent une bonne illustration de ce fait important.

TABLEAU XXVIII

Nature et longueur moyenne des galets du Conglomérat principal, des Couches intermédiaires inférieures et du Conglomérat inférieur; les affleurements sont classés géographiquement du N au S.

Localités	Cartes	Pourcentage des divers galets			Longueur moyenne (en mm)			
		Quartzite	Quartz	Autres galets	Quartzite	Quartz	Autres galets	Moyenne
Liederschiedt	Bitche NE	20	80					16
Volksberg	Bouxwiller NW	30	70					
La Petite Pierre	Bouxwiller SW	35	65					17
Danne-et-Quatre Vents	Bouxwiller SW	40	60					17
Lutzelbourg	Saverne NW	34	66		18	15		16
Saint-Jean-Saverne	Saverne NW	35	65					17
Le Brotschberg	Saverne NW	34	66					18
Marlenheim (Le Krontal)	Saverne SE	40	60					20
Niederhaslach (Rocher du corbeau)	Molsheim NW	40	60					22
Boersch	Molsheim SE	34	66					20
Mont Sainte-Odile	Molsheim SE	40	60					20
La Vancelle (Rocher du coucou)	Sélestat SW	35	65					20
Labaroche-Le Gras	Colmar SW	40	60					23

Hommerit	Sarrebourg NE	53	47					
Walscheid	Sarrebourg SE	32	68					
Walscheid-St-Léon	Sarrebourg SE	45	65					20
Saint-Quirin	Sarrebourg SE	50	50					25
Val-et-Châtillon (Scierie)	Cirey-sur- Vézouse SE	45	65					20
Val-et-Châtillon	Cirey-sur- Vézouse SE	55	45					28
Housseras (les Angles)	Rambervillers SE	58	37	5	46	36	40	44
Montagne d'Ormont (Roche du Hoff)	St Dié SW	30	70		40	30		35
Lépanges (La Haute Verrière)	Bruyères NW	62	38		40	25		35
Desvillers (La Folie Finot)	Bruyères NW	65	35		40	30		36
Archette	Bruyères SW	65	35		30	30		30
Renauid	Epinal SE	58	37	5	50	30	30	41
Charmois l'Orgueilleux	Epinal SW	65	35					40
Relanges	Vittel SE	78	19	3				50
Claudon (Senennes)	Monthureux-sur Saône SE	65	32	3	48	40		46
Bellefontaine (Le Blanc Murger)	Plombières NE	55	45					40
Thiéfosse (Bois de Tonneux)	Remiremont SE	30	68	2				35
Offemont (Fort de Roppe)	Belfort NW	49	51					35
COUCHES INTERMEDIAIRES INFERIEURES								
Hottwiller	Bitche NW	6	94					20
Schönbourg (Kreutzmühl)	Bouxwiller SW	5	95					20
Charmois l'Orgueilleux	Epinal SW	5	95					20
Bleurville	Vittel SE	1	99					18
Claudon	Monthureux-sur Saône NE	1	99					23
CONGLOMERAT INFERIEUR								
Bruyères (Route de Belmont)	Bruyères NE	67	19	14	40	30	25	35

C. — INTERPRETATION DES FAITS PRECEDENTS

a) La diminution de la longueur moyenne des galets du SW vers le NE permet de déduire l'existence d'un courant dirigé suivant le même sens que cet amincissement.

b) Causes des variations des pourcentages des galets de quartzite et de quartz.

Pour F. FÖRCHÉ qui avait déjà noté le même phénomène (1935, p. 43 et carte fig. 7), les quartzites sont plus destructibles que les quartz compacts et disparaissent donc plus rapidement qu'eux.

Nous inclinons plutôt vers une explication opposée : les quartzites sont en effet massives, très dures et non fissiles; dans le courant d'eau, elles s'usent, d'ailleurs peu, mais ne se fragmentent pas. Au contraire, les quartz filoniens se fragmentent dès le moindre choc : ils diminuent donc de taille en se multipliant. La conséquence est immédiate : les quartzites, dont les dimensions ne diminuent pas vite, se déposent rapidement tandis que, se fragmentant, les quartz diminuent de taille et sont facilement transportés au loin : **la proportion quartzite/quartz diminue donc dans le sens du courant** : de 80/20 vers Darney, elle passe à 50/50 vers Cirey-sur-Vezouse et Saint-Quirin et à 20/80 vers Bitche.

D. — NATURE ET LONGUEUR MOYENNE DES GALETS DU CONGLOMERAT INFERIEUR ET DES COUCHES INTERMEDIAIRES INFERIEURES (tableau XXVIII)

Dans le Conglomérat inférieur, le nombre des affleurements étudiés est insuffisant pour autoriser une conclusion.

Dans les Couches intermédiaires inférieures, les galets ont des dimensions moyennes trop proches les unes des autres et leur nature est trop uniformément quartzreuse pour que des variations régionales puissent se produire et être observées.

IV. — ETUDE DE LA DISPOSITION DES GALETS DU CONGLOMERAT PRINCIPAL

Bien que ce genre d'étude ait été effectué depuis longtemps, pour la France les méthodes n'ont été réellement dégagées que par A. CAILLEUX (1934-1935) et par J. TRICART (1951) et réunies en un ensemble par ces mêmes auteurs (A. CAILLEUX et J. TRICART, 1959).

Dans le Conglomérat principal des Vosges, une étude avait déjà été faite par E. NOEL (1905a, b et 1908), puis par F. FORCHE (1935, pp. 50 à 52) qui en tira des conclusions exactes et diamétralement opposées à celles de son prédécesseur.

A. — ORIENTATION DES GALETS

1° Méthode.

Le grand axe des galets étant orienté perpendiculairement à la direction du courant marin ou fluviatile, il suffit de mesurer la direction de ce grand axe pour déduire celle du courant; mais les précautions suivantes doivent être prises :

— *il ne faut mesurer que les plus gros galets* (2 à 3 % du total), car les petits galets sont trop influencés au cours de leur dépôt par des facteurs locaux (tourbillons, etc...);

— *il ne faut mesurer que les galets allongés et réguliers* : les galets qui possèdent un gros bout et un autre bout effilé pivotent autour de leur bout massif qui s'immobilise le premier, tandis que le bout léger continue à être entraîné par le courant; dans ce cas, le galet s'immobilise en long et non en travers du courant.

La figure 22 représente *une rose des vents simplifiée* sur laquelle ont été portées les directions des grands axes des galets de l'affleurement du Conglomérat principal de Saint-Quirin; nous avons gradué ces directions en degré en leur attribuant une valeur allant de 0 à 180°; une direction moyenne peut être facilement calculée : 160°-340° dans l'exemple choisi.

Ceci permet ensuite de déduire la direction du courant qui a déposé ces galets (ici 70°-250°), étant bien entendu que cette méthode ne permet pas de définir le sens de ce courant.

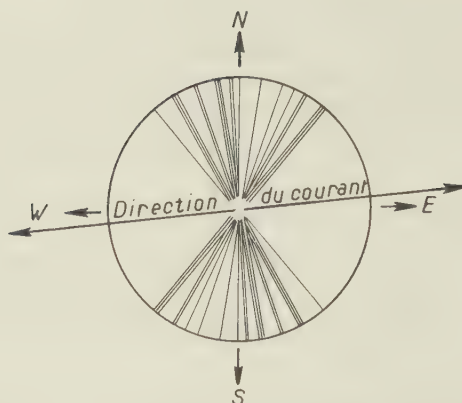


FIG. 22. — Orientation des galets du Conglomérat principal : Saint-Quirin (Moselle)

2° Les faits et leur interprétation.

Le tableau XXIX fournit les orientations moyennes des galets de quelques affleurements du Conglomérat principal et les directions des courants susceptibles d'avoir déposé ces galets. On voit que cette direction est SW-NE (ou NE-SW) et concorde fort bien avec tout ce que nous avons déjà vu à ce sujet.

TABEAU XXIX

Orientation des galets et direction des courants du Conglomérat principal.

Localités	Carte	Orientation moyenne du plus grand axe des galets	Direction du courant principal
Hommert	Sarrebouurg NE	130° - 310° et 40° - 220°	40° - 220°
Saint-Quirin	Sarrebouurg SE	160° - 340°	70° - 250°
Baccarat (Humbepaire)	Lunéville SE	0° - 180°	90° - 270°
Housseras (Les Angles)	Rambervillers SE	140° - 320° et 70° - 50°	50° - 230°
Biffontaine	Bruyères NE	145° - 325°	55° - 235°
Deyvillers (La Folie-Finot)	Bruyères NW	130° - 310°	40° - 220°
Archette	Bruyères SW	165° - 345°	75° - 255°
Dounoux (Bois Hennotte)	Epinal SE	178° - 358°	88° - 268°
Charmois-l'Orgueilleux	Epinal SW	142° - 322°	52° - 232°

B. — DISPOSITION COLLECTIVE DES GALETS

C'est l'étude de leur contiguïté, de leur stratification, de leur imbrication et aussi de leur horizontalité et de leur assiette. Toutes ces dispositions ont été décrites par A. CAILLEUX et J. TRICART (1959).

Cette étude a été menée sur de nombreux affleurements; il n'a pas été possible de la chiffrer, mais seulement de la définir qualitativement : les galets du Conglomérat principal sont le plus souvent déposés en « vrac » au milieu d'une gangue sableuse et présentent l'aspect d'un épandage torrentiel (torrent boueux).

V. — CONCLUSION GENERALE A L'ETUDE DES GALETS

1° Dans le Conglomérat principal, un transport de type fluviatile a été déterminé (étude de l'émoussé des galets); les cours d'eau évoqués ont pu être divagants (indice d'aplatissement) et avoir une force suffisante pour pouvoir être classés parfois parmi les torrents (indice de dissymétrie) qui étaient sans doute des torrents boueux (disposition des galets).

Une origine générale des matériaux, en provenance d'une région située à l'W de Darney peut être envisagée; il s'y ajoute parfois des matériaux d'origine locale.

Au N du parallèle de Darney, les courants d'eau s'écoulaient essentiellement du SW vers le NE et au S de ce parallèle, ils s'écoulaient du NW vers le SE (orientation des axes des galets, étude du centile et de la longueur moyenne des galets).

Des courants secondaires locaux ont pu être déterminés et une barrière entre la Lorraine et l'Alsace (Seuil vosgien) a pu être envisagée.

2° Le *Conglomérat inférieur* fut vraisemblablement déposé dans les mêmes conditions que le Conglomérat principal (étude morphométrique) mais par des cours d'eau dont la compétence a dû être plus faible (étude du centile).

3° Les galets des *Couches intermédiaires inférieures* sont très différents de ceux du Conglomérat principal (caractères morphométriques, centile); après un façonnement éolien, ils ont subi un remaniement fluviatile peu intense.

La sédimentation fut plus générale et plus uniforme à l'époque des Couches intermédiaires qu'à celle du Conglomérat principal (morphométrie des galets).

CHAPITRE III

ÉTUDE DES SABLES

I. — ETUDE MORPHOSCOPIQUE

A. — METHODE

1° Travaux consultés.

Nombreux sont les travaux sur les méthodes d'étude des sables, nous nous sommes arrêtés aux suivants : W. C. KRUMBEIN et F. J. PETTIJOHN (1938); F. J. PETTIJOHN (1949); A. CAILLEUX (1943, 1947, 1952); W. C. KRUMBEIN et S. L. SLOSS (1951); W. WALTHER (1951); V. TONNARD (1954); A. VATAN (1954); K. EISSELE (1957); G. ROUGERIE (1957); LIGUS (1958); A. CAILLEUX et J. TRICART (1959); M. MATSCHINSKI (1959).

2° Préparation des échantillons.

Nous avons toujours prélevé nos échantillons dans des bancs suffisamment meubles pour qu'ils puissent être désagregés par simple trituration dans l'eau, sans avoir recours à des procédés de désagregation mécanique qui abiment les grains et faussent les observations.

a) Lavage des échantillons.

Chaque échantillon a été séparé en deux parts :

a) La première a subi un *lavage à l'acide chlorhydrique à chaud*; le but de l'opération est d'éliminer l'enduit ferrugineux qui englobe les grains et empêche l'étude des aspects de surface et même celle de la forme.

b) La deuxième part n'a pas subi ce lavage; elle permet l'étude du pigment ferrugineux et le mode de fixation de celui-ci sur les grains; elle permet aussi l'étude d'une éventuelle corrosion des grains et enfin celle des agrégats à ciment ferrugineux qui sont dissociés au cours du lavage à l'acide.

c) Dimension des grains observés.

On sait depuis longtemps que le façonnement des grains, donc leur aspect et leur forme, est fonction de leur taille. Par conséquent si l'on veut comparer entre elles diverses formations, il convient de toujours étudier des grains de même dimension.

Par tamisage ménagé, nous avons séparé chaque échantillon en deux fractions :

a) Une fraction dite *grossière*, comprise entre 1,65 mm (tamis n° 10 de la série Tyler) et 0,35 mm (tamis n° 42).

b) Une fraction dite *fine*, comprise entre 0,35 mm (tamis n° 42) et 0,17 mm (tamis n° 80).

Les deux fractions ont été étudiées, mais **de meilleurs résultats ont été fournis par la fraction grossière**; ils seront donc les seuls à être relatés.

c) Méthode d'étude.

Tous les échantillons tamisés, lavés ou non lavés, ont été observés à la loupe binoculaire.

Nous inspirant des derniers travaux (G. ROUGERIE, 1957; LIGUS, 1958), nous avons séparé l'étude des aspects de surface de celle de la forme des grains.

La forme des grains a été déterminée par comparaison avec une charte visuelle semblable à celle de W. C. KRUMBEIN et S. L. SLOSS, semblable aussi à celle utilisée par K. EISSELE (1957). Par comparaison avec cette charte, nous avons attribué aux grains un rang dans l'un des groupes suivants auxquels nous avons attribué des numéros allant de 0 à 10 et proportionnels aux valeurs d'usure croissante.

Groupe I : Grains non usés; valeurs d'usure : 0 à 2.

Nous inspirant des travaux de H. ALIMEN et F. BEUCHER (1960), nous avons subdivisé ce groupe en trois sous-groupes :

— Sous-groupe A : grains non usés irréguliers comportant de nombreux rentrants (valeur d'usure = 0).

— Sous-groupe B : grains non usés triangulaires (valeur d'usure = 1).

— Sous-groupe C : grains non usés polyédriques (valeur d'usure = 2).

Groupe II : grains à coins arrondis (CA) (valeur d'usure = 4).

Groupe III : grains arrondis (AR) (valeur d'usure = 6).

Groupe IV : grains ovoïdes (OV) (valeur d'usure = 8).

Groupe V : grains sphériques (Sph) (valeur d'usure = 10).

Pour chaque échantillon, on obtient ainsi une répartition caractéristique, facile à transcrire sous forme de tableaux et de graphiques.

Une représentation graphique a en effet été réalisée sous la forme de courbes de fréquences simples : en abscisses nous avons porté les valeurs d'usure des grains et en ordonnées le pourcentage des grains dans chaque groupe (fig. 24).

Enfin, un indice d'usure a été calculé pour chaque échantillon à partir de la formule suivante :

$$I_u = \frac{\text{pourcentage des grains dont l'usure est supérieure à 5}}{\text{pourcentage des grains dont l'usure est inférieure à 5}}$$

B. — LES FAITS

1° Etude de la fraction non déferruginisée.

a) Le pigment ferrugineux.

Il se présente sous l'aspect d'un enduit très mince qui enrobe les grains de quartz de façon tout à fait superficielle et uniforme sans jamais pénétrer à l'intérieur, le long des plans de clivage ou dans la masse.

Parfois, ce pigment est abondant; il constitue alors une sorte de ciment qui unit les grains entre eux formant ainsi des agrégats ferrugineux.

b) Les agrégats ferrugineux.

Ils ont les dimensions de la fraction que nous avons appelée *grossière*; nommés « pseudosables » par les pédologues (P. DUCHAUFOR, 1960) ils ont été décrits par divers auteurs (G. AUBERT, 1951; G. ROUGERIE, 1957; LIGUS, 1958). En faisant disparaître le ciment ferrugineux, un lavage à l'acide chlorhydrique dissocie le plus souvent ces agrégats en leurs éléments; cependant il en subsiste un petit nombre : ce sont ceux dont le ciment est siliceux.

c) Les agrégats siliceux.

Leur ciment est siliceux et bien visible après déferruginisation, et il provient sans doute de phénomènes de nourrissage secondaire.

d) Importance quantitative des agrégats.

Ferrugineux ou siliceux, les agrégats sont peu nombreux dans les grès permien (planche IX A) et nombreux dans les grès du Buntsandstein (planche IX B, C D et planche X).

2° Etude de la fraction déferruginisée.

a) Etude des aspects de surface.

a) Corrosion des grains de quartz.

Cette corrosion aboutit à l'aspect « picoté » décrit par LIGUS (1958, pp. 45-46); on n'en compte jamais plus de 0,25 à 0,50 % du nombre total des grains de quartz, ce qui est infime.

β) *Silicifications.*

Nous ne parlerons pas ici des silicifications liées à l'hydrothermalisme et qui transforment la roche en une véritable quartzite. Nous avons réservé notre effort aux silicifications qui affectent toutes les formations du Buntsandstein, même au niveau des bancs restés sableux; elles sont importantes et peuvent être classées en deux groupes :

— *Les microsilicifications.*

Leur taille est de l'ordre du μ ou de la dizaine de μ ; elles sont constituées par de très nombreuses petites pyramides de quartz serrées les unes contre les autres; cette silicification détruit l'aspect primitif de la surface du grain pour le remplacer par un aspect mat (fig. 23 A).

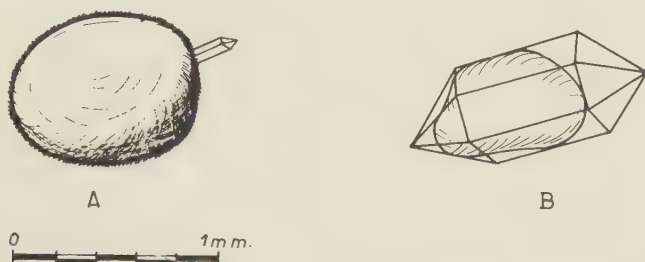


FIG. 23. — Silicification des grains de quartz du Buntsandstein :

- a : microsilicification autour d'un grain de quartz et macrosilicification en fine aiguille.
- b : macrosilicification en grosses pyramides.

— *Les macrosilicifications.*

Elles sont de deux sortes :

— *Macrosilicifications en fines aiguilles* fichées dans le grain et isolées sur lui; même s'il existe deux ou trois de ces aiguilles, celles-ci sont toujours isolées les unes des autres (fig. 23 A).

— *Macrosilicifications en grosses pyramides* dont la base englobe tout le grain (fig. 23 B).

b) *Etude de la forme des grains.*

Une première étude d'ensemble nous a montré la parfaite ressemblance, pour ne pas dire identité, des divers échantillons prélevés dans un même niveau mais en des lieux divers; pour ne pas alourdir cet exposé, nous ne fournissons qu'un résumé de cette étude sous forme du tableau XXX et d'histogrammes (fig. 24).

Ce tableau appelle quelques remarques :

α) **Les grains sphériques** n'apparaissent que dans le Grès vosgien et le Conglomérat principal; ils y sont accompagnés par une forte proportion d'*ovoïdes* et d'*arrondis* avec un complément en « *coins arrondis* ».

β) **Les grains non usés** prédominent dans le Grès permien.

γ) **Les grains arrondis et à coins arrondis** prédominent dans les autres formations.

C. — INTERPRETATION DES FAITS

1° Signification du pigment ferrugineux.

Le pigment ferrugineux possède une signification climatique dont nous discutons la portée au chapitre consacré au climat (3^e partie, chap. IV, pp. 309 à 313).

TABLEAU XXX
Usure des grains de quartz.

Localités	Formations	Non usés			C.A	Ar.	Ov.	Sph	Indice
		0	1	2	4	6	8	10	d'usure
Région du Donon	Grès permien	10	22	28	25	15			0,17
Niederhaslach	Grès d'Annweiler	4	12	15	33	27	9		0,56
Bruyères	Grès vosgien				5	8	51	36	19,0
Région de Dabo	Congl. principal				6	42	47	5	15,7
Claudon (région de Darney)	Zone-Limite- Violette	5	13	20	8	44	30	18	11,5
					19	32	9	2	0,75
Fontaines-les-Luxeuil	C.int. inf.	7	13	21	39	20			0,25
Région d'Epinal	C.int. sup.	8	14	14	24	28	12		0,66
Luxeuil	Grès à Voltzia			6	42	38	14		1,08
Pexonne	Grès coquillier			15	25	43	13	4	1,50

2° Signification des agrégats ferrugineux.

Pédologues et géographes nous enseignent que les **agrégats ferrugineux** indiquent une **pédogénèse** assez intense et sont actuellement rencontrés dans les sols rouges hydromorphes des zones deltaïques inondées par des crues saisonnières et jouissant d'un climat tropical ou subtropical à saison sèche très marquée et saison humide brève (G. AUBERT, 1951; G. ROUGERIE, 1958; LIGUS, 1958).

3° Signification des agrégats siliceux.

Pédologues et géographes nous enseignent aussi que les **concrétions siliceuses** se forment surtout dans les nappes d'eau douce, sous climat chaud comportant une saison sèche accentuée qui provoque de fortes évaporations (comme actuellement dans les lacs de la boucle du Niger).

4° Signification des aspects de surface.

a) *L'absence de corrosion* des grains de quartz et la **non-pénétration** de la ferruginisation à l'intérieur de ces grains permet de conclure à l'absence au Trias d'un climat de type intertropical constamment chaud et humide.

b) *Les silicifications.*

Les microsilicifications masquent l'état de la surface primitive du grain, si bien qu'aucune conclusion génétique ne peut être tirée de cette étude. De très nombreux auteurs ont argué de la matité de ces grains pour leur attribuer un mode de façonnement éolien; il convient ici de faire remarquer que le mat éolien provient du dépolissage du grain par enlèvement de très petites particules sous l'effet de chocs répétés tandis que la matité de nos grains provient du phénomène inverse de nourrissage qui n'est pas d'origine éolienne. Il est donc probable que toutes ces formations furent qualifiées de désertiques sur la simple vue d'un trompeur aspect de surface.

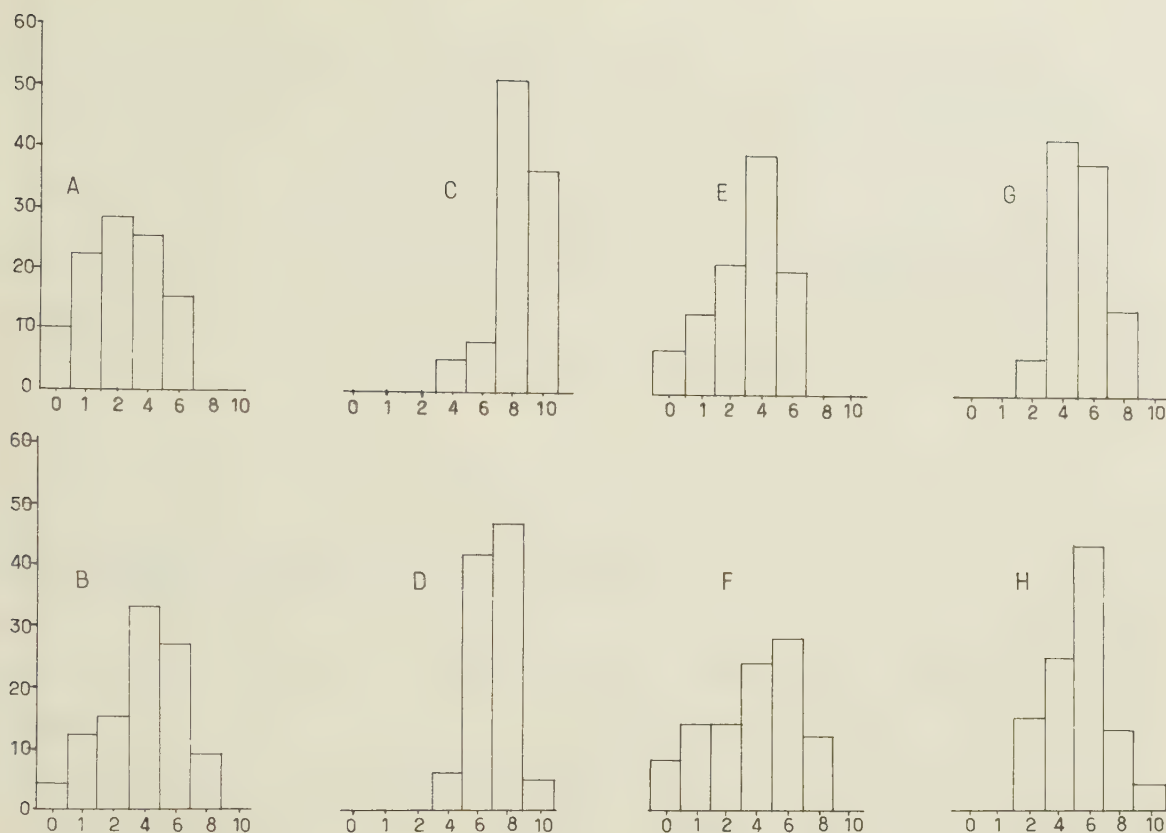


FIG. 24. — Représentation sous forme d'histogrammes du degré d'usure des grains de quartz du Permien et du Buntsandstein :

— abscisses : valeurs croissantes d'usure des grains.

— ordonnées : nombre des grains (en pour cent) dans chaque catégorie d'usure.

A : Grès permien

B : Grès d'Annweiler

C : Grès vosgien

D : Conglomérat principal

E : Couches intermédiaires inférieures

F : Couches intermédiaires supérieures

G : Grès à Voltzia

H : Grès coquillier

Les macrosilicifications : comme pour les agrégats siliceux, ce phénomène correspond sans doute à un dépôt sous climat chaud dans des cuvettes à inondations saisonnières : des solutions siliceuses percolent à travers les couches superficielles qui se déposent, puis elles s'assèchent et des silicifications se produisent, aboutissant à la formation d'agrégats siliceux (LIGUS, 1958).

5° Signification de la forme des grains et de leur degré d'usure.

a) *Les grains non usés* prédominent dans les grès permien; ce caractère peu évolué du sédiment indique une provenance très proche, un transport bref, un dépôt terrestre de piedmont qui évoque un phénomène de sheet-flood.

b) A l'opposé, *les grains sphériques* n'apparaissent que dans le Grès vosgien et le Conglomérat principal. Tous les auteurs sont d'accord pour attribuer au façonnement éolien cette forme de grains qui n'apparaît jamais dans les autres types de dépôt, fluvatile ou même marin. Ces grains sphériques sont accompagnés ici par une forte proportion d'ovoïdes et d'arrondis. On peut interpréter ce mélange comme provenant d'un dépôt fluvatile dans une plaine alluviale qui comporte déjà des dépôts dunaires à éléments façonnés par le vent et pouvant être repris au cours de crues ou de divagations des cours deau.

Notons aussi que cette étude morphoscopique réunit Grès vosgien et Conglomérat principal en un groupe bien séparé du reste du Buntsandstein.

c) *La Zone-Limite-Violette*. Peu touchés par les processus pédologiques de fragmentation des quartz, les niveaux inférieurs de la Z.L.V. présentent un indice d'usure des grains de quartz élevé et comparable à celui du Conglomérat principal sous-jacent.

En revanche, dans les niveaux supérieurs dolomitisés et silicifiés de cette zone, les grains de quartz sont non usés, anguleux et irréguliers.

d) Venant après le dépôt du Grès vosgien et du Conglomérat principal, *les grès des Couches intermédiaires* marquent un net recul dans le degré d'usure des grains : les *sphériques* et les *ovoïdes* ont disparu, les *non usés* apparaissent en notable proportion à côté des *coins arrondis* et des *arrondis* qui prédominent. C'est l'indication d'un **mode de transport et de dépôt de type fluvial** utilisant un matériel non évolué au départ et façonné peu à peu.

e) Dans le Grès à *Voltzia* et le Grès *coquiller*, enfin, l'usure est plus prononcée, le matériel plus évolué : le lieu d'origine de ce matériel était sans doute plus éloigné.

D. — CONCLUSION A L'ETUDE MORPHOSCOPIQUE DES SABLES

Les aspects de surface des grains de quartz (agrégats, silicifications, ferruginations) nous poussent à évoquer des épandages sur de vastes plaines marécageuses ou dans des cuvettes soumises à des alternances d'inondation et de sécheresse en relation avec un climat chaud à saison sèche assez longue et saison humide brève.

L'aspect mat des grains n'est pas dû à un dépolissage d'origine éolienne mais à un *micro-nourrissage périphérique*; une éventuelle origine désertique du façonnement des grains n'est donc pas prouvée par ce caractère.

La forme des grains fournit de précieux renseignements sur le mode de transport et de dépôt :

— au Permien, épandages de piedmont accompagnés de phénomènes de *sheet-flood*;

— au Grès vosgien et au Conglomérat principal, dépôt fluvial dans une plaine alluviale avec remaniement de sables éolisés au cours de la saison sèche;

— au temps des *Couches intermédiaires*, transport fluvial d'un matériel non évolué et façonné peu à peu;

— au Grès à *Voltzia* et au Grès *coquiller*, transport fluvial plus long et dépôt dans des lacs ou dans une mer bordière d'un matériel de provenance plus lointaine.

II. — ETUDE DES MINERAUX LOURDS DU PERMIEN ET DU TRIAS

A. — HISTORIQUE

De récents travaux sur les minéraux lourds ont éclairé la sédimentologie du Permien et du Trias.

Dans leur note sur la Pétrographie des Molasses de la Bresse, G. TCHIMICHKIAN, J. REULET et A. VATAN (1958) ont évoqué la province vosgienne parce qu'elle était une des provinces d'origine des matériaux de leur molasse, et par conséquent le cortège des minéraux lourds du Permo-Trias de la Sarre et du NE de la France : en dehors des minéraux ubiquistes (zircon, tourmaline, rutile), l'association grenat-staurotide-apatite caractérise cette province et ses éléments se présentent en diverses proportions les uns par rapport aux autres selon le lieu de l'échantillonnage (Sarre, région de Bitche, région de Saint-Dié) ou selon la profondeur (en surface ou en forage).

Dans le même temps (1958) K. SINDOVSKI publiait son étude des minéraux lourds du Permien et du Buntsandstein de l'Allemagne occidentale, des Vosges et de l'Ardenne : il y mettait en évidence dix-huit provinces minéralogiques basées sur les proportions relatives des principaux minéraux suivants : tourmaline, zircon, rutile, grenat, staurotide; c'est ainsi qu'il a pu distinguer dans le Buntsandstein moyen une province « Vosges-Palatinat » caractérisée par l'association : tourmaline

(80 %), zircon (20 %) et des traces de rutile, la tourmaline étant constituée pour 65 % de brune et pour 35 % de verte.

Avec ces provinces, SINDOWSKI jalonne les courants de sédimentation mis en évidence au moyen d'autres méthodes par R. BRINKMAN (1926-1933) et par F. FORCHE (1935) et cite les contrées d'apports suivantes pour les grès des Vosges Gréseuses :

— pour le Buntsandstein inférieur : le Continent Gaulois (cf. p. 197) les Vosges et la Forêt-Noire;

— pour le Buntsandstein moyen : les massifs cristallins du Continent Gaulois, des Vosges et de la Forêt Noire ainsi que les roches métamorphiques du Hunsruck et des Ardennes;

— pour le Buntsandstein supérieur : les mêmes régions que précédemment, mais rétrécies.

SINDOWSKI note enfin une *distinction possible entre le Buntsandstein moyen d'une part et le Buntsandstein inférieur et le Buntsandstein supérieur d'autre part* :

— le Buntsandstein moyen renferme peu de grenat et de zircon mais beaucoup de tourmaline.

— le Buntsandstein inférieur et le Buntsandstein supérieur renferment plus de grenat et de zircon, mais moins de tourmaline.

En 1961, L. YAPAUDJIAN a présenté un « Essai de caractérisation des sédiments permien et triasiques dans le Bassin de Paris » qui lui a permis de présenter les conclusions suivantes :

— les cortèges minéralogiques du Permien et du Trias inférieur des Vosges sont extrêmement monotones : en dehors des ubiquistes (zircon, tourmaline, rutile), il existe des traces de staurotide, de grenat, de fluorine, de monazite et de xénotime;

— la présence d'anatase authigène dans le Trias est fréquente;

— la différenciation du Permien et du Trias a été mise en évidence par les variations des teneurs en tourmaline et zircon d'une part et en anatase, brookite et rutile d'autre part :

— le rapport tourmaline/zircon est toujours supérieur à 1,5 dans les grès du Trias inférieur (il peut même atteindre des valeurs de 3 ou de 4) et inférieur à 1,5 dans les grès du Permien;

— le rapport numérique anatase/rutile + brookite est toujours inférieur à 1 dans les couches attribuées au Permien et supérieur à 1 dans les cortèges du Trias inférieur.

Toujours en 1961, H. W. HENRICH a présenté les résultats d'une étude de 700 échantillons de grès; ses conclusions essentielles sont les suivantes :

— le Buntsandstein supérieur est plus riche en minéraux opaques et en grenat que le Buntsandstein moyen;

— il est possible de tracer des coupures à l'intérieur du Buntsandstein à l'aide de l'aspect de la tourmaline :

— dans le Grès vosgien inférieur coexistent deux formes de tourmaline : une forme arrondie et une forme anguleuse;

— dans le Grès vosgien supérieur n'existe que la forme arrondie;

— dans le Conglomérat principal et la Zone-Limite-Violette n'existe que la forme anguleuse;

— dans les Couches intermédiaires et le Grès à Voltzia, la forme anguleuse domine.

Mené parallèlement aux études précédentes, notre travail arrive à des conclusions semblables; malgré tout il nous paraît intéressant de les citer, mais auparavant il nous faut brièvement exposer la méthode employée puis les faits qui sont essentiellement condensés en sept tableaux.

B. — METHODE D'ETUDE

Elle est classique : elle s'inspire à la fois de celle préconisée par H. MILNER (1940) et de celle mise au point par L. THIEBAUT (1952) pour l'étude des concentrés alluvionnaires.

Deux cents grammes de roche sont prélevés, broyés, tamisés entre les tamis 24 (0,70 mm) et 170 (0,08 mm); la fraction 24/170 est ensuite lavée et déferruginisée par ébullition de vingt minutes en présence d'acide oxalique mis au contact d'une feuille d'aluminium (C. J. LEITH, 1950); ce procédé utilise l'H naissant pour réduire les oxydes de fer et les éliminer sans attaquer les carbonates ni les phosphates. Après filtration et séchage, 100 gr sont pesés pour la séparation au bromoforme. La fraction lourde est triée à l'électro-aimant en 4 lots; les minéraux de chaque lot sont déterminés au microscope, par immersion dans des liqueurs d'indices et les fréquences sont ensuite évaluées à la loupe binoculaire; les valeurs sont exprimées en pourcentage de grains.

Notre étude a porté sur plus de 300 échantillons prélevés à tous les niveaux du Permien et du Buntsandstein. Pour chaque affleurement cité dans les tableaux XXXI à XXXVII correspondent 3 à 12 analyses; c'est la moyenne de leurs résultats qui est indiquée.

C. — LES FAITS

1° Les Minéraux essentiels.

a) **Tourmaline.**

La tourmaline est le plus souvent brune; elle se présente parfois en grains bien roulés, principalement dans le Grès vosgien, mais beaucoup plus fréquemment en grains anguleux. Elle ne fait jamais défaut.

b) **Zircon.**

Il apparaît le plus souvent sous forme de prismes courts. Dans le Permien, il est généralement plus abondant que la tourmaline et c'est généralement l'inverse dans le Buntsandstein, mais cette règle, découverte par L. YAPAUDJIAN, souffre de fréquentes exceptions, notamment dans le Grès à Voltzia. Il tire plus volontiers son origine des roches cristallines et semble de ce fait indiquer de telles roches pour la région d'origine.

c) **Rutile.**

Il se présente sous la forme de grains roulés colorés en brun foncé; il n'est jamais absent et il provient des granites et des diorites.

d) **Staurotide.**

Elle n'offre rien de spécial et sa répartition est capricieuse. Elle tire son origine des roches métamorphiques, principalement des micaschistes.

e) **Grenats.**

Usés et arrondis, ils sont presque toujours présents, mais dans des proportions très variables. Il semble cependant qu'ils soient plus abondants dans le Buntsandstein supérieur que dans le Buntsandstein moyen, ce qui confirmerait la conclusion de H. HENRICH.

f) **Monazite.**

Elle se rencontre sous la forme de grains arrondis de couleur vert-jaunâtre. Elle est assez fréquente mais peu abondante; sa présence a été contrôlée à l'aide du spectroscope oculaire.

g) **Magnétite et Corindon.**

Les teneurs sont très irrégulières et aucun caractère général ne peut être tiré de ces deux minéraux.

h) **Anatase.**

Nous n'avons jamais rencontré ce minéral autrement que sous la forme de tablettes. Elle est assez fréquente dans le Buntsandstein, bien que très peu abondante; en revanche, nous ne l'avons jamais observée dans le Permien.

2° Les Minéraux accessoires.

Ils ne présentent pas un grand intérêt; il semble cependant qu'ils soient en plus grande proportion dans le Buntsandstein supérieur que dans le Buntsandstein moyen et que cet accroissement du nombre des minéraux accessoires soit surtout dû à celui des minéraux blancs opaques. H. HENRICH l'a également signalé.

Les résultats de nos analyses ont été groupés dans les tableaux XXXI à XXXVII. Les chiffres indiquent les pourcentages du nombre des grains de chaque espèce minérale. Dans la dernière colonne, nous avons indiqué le pourcentage des minéraux accessoires par rapport à la totalité des minéraux lourds.

D. — CONCLUSIONS

Le rapport tourmaline/zircon utilisé par L. YAPAUDJIAN comme critère de distinction du Permien et du Trias ne nous semble pas d'une netteté absolue ni d'un emploi sûr.

Il est délicat de vouloir procéder à des découpages plus restreints et la détermination des diverses formations du Buntsandstein grâce à l'emploi des minéraux lourds ne semble pas possible.

La distinction des provinces minéralogiques de K. SINDOWSKI ne nous a pas convaincu, car nulle part dans le Buntsandstein moyen des Vosges nous n'avons retrouvé l'association « tourmaline (80 %) - zircon (20 %) » que cet auteur décrit comme caractéristique de cette province.

Un résultat apparaît cependant : *ces minéraux indiquent que les roches dont ils sont provenus étaient constituées par des granites, des gneiss et des micaschistes.*

TABLEAU XXXI
Minéraux lourds du Permien

matériaux tourna au Permien

		Minéraux essentiels										Minéraux accessoires			
Localités	Carte au 1/ 50 000e	Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurolite	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux blancs opaques	Pourcentage des Miné- raux accessoires	
Montagne d'Ormont	Saint-Dié SW	19, 1	55, 2	5, 6		7, 5		10, 1	2, 5		2, 5	13, 2	84, 3	58, 9	
Série permienne de Saint- Dié au Col des Raids (1)	Saint-Dié SW	11, 0	40, 2	5, 2	1, 4	28, 2	1, 3	12, 2	0, 5		11, 4	12, 6	76, 0	25, 6	
Senonnes	Saint-Dié NW	15, 4	36, 3	22, 7				25, 6			4, 2	38, 3	57, 5	53, 2	
Vieux-Moulin	Saint-Dié NW	13, 7	23, 7	13, 3		26, 5	3, 4	19, 4			5, 5	25, 2	69, 3	44, 4	
Bruyères	Bruyères NE	14, 3	27, 4			4, 6	tr.	53, 7			5, 9	7, 5	86, 6	63, 4	
La Vancelle (S de Villé)	Sélestat SW	12, 5	65, 0	3, 8		3, 8	1, 4	13, 5	tr.		0	12, 5	87, 5	40, 0	

(1) Série classique dans la note de G. CHOUQUET et G. GARNIER

(1) Série classique dans la note de G. CHOUBERT et G. GARDET (1935).

TABLEAU XXXII
Minéraux lourds du Grès d'Annweiler

		Minéraux essentiels								Minéraux accessoires				
		Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurotide	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux blancs opaques	Pourcentage des miné- raux accessoires
Localités	Carte au 1/50 000 e	Lembach SW	14,6	22,8	24,1						3,6	1,8	94,6	32,2
		Lembach SW	18,2	25,6	17,8		9,6 38,4		24,1 tr.	4,8 tr.		9,7	8,4	81,9

TABLEAU XXXIII
Minéraux lourds du Grès Vosgien

		Minéraux essentiels										Minéraux accessoires			
Localités	Carte au 1/50 000 e	Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurolite	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux opaques blancs	Pourcentage des miné- raux accessoires	
Bitche	Bitche NE	52,7	14,8	13,4	5,6	6,2		6,1		0,2		18,4	81,6	44,7	
Climbach	Lembach SE	36,4	10,2	18,2	11,4	17,2	0,2	6,2	tr.	0,2	1,6	4,7	93,7	65,0	
Frohmuhl	Bitche NW	2,8	90,1	0,5	0,6	2,1	0,2	2,9	0,8	tr.	18,4	31,2	50,4	10,5	
La Petite Pierre	Bouxwiller SW	26,4	51,2	3,1	3,2	6,4	2,3	6,2	1,2	tr.	13,6	26,2	60,2	18,2	
Scierie de Stambach	Saverne NE	68,0	16,5	3,2	5,7	6,3	0,3				1,2	31,5	67,3	37,3	
La Vancelle	Sélestat SE	10,5	31,3	0,9	4,2	22,4	0,2	30,4		0,1				25,5	
Epinal	Epinal NE	46,3	34,7	3,2	5,6	4,2		5,8	0,1	0,1	1,6	9,1	89,3	70,6	
Bruyères	Bruyères NE	34,0	23,0	20,1	2,5	6,8	0,4	8,2	2,6	2,4			100	35,0	
Jarmeril	Bruyères SW	27,9	18,4	9,4	35,8	4,4		4,1			1,8	88,0	10,2	60,4	
Offemont	Belfort NW	31,3	23,2	23,5		16,1			5,9			67,9	32,1	29	

TABLEAU XXXIV

Minéraux lourds du Conglomérat principal

		Minéraux essentiels									Minéraux accessoires			
Localités	Carte au 1/50 000 e	Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurolite	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux blancs opaques	Pourcentage des mi- néraux accessoires
Volksberg	Bouxwiller NW	21,2	37,7	7,5	8,4	18,3	1,1	4,8	0,7	0,3	27,7		73,3	20,2
La Petite Pierre	Bouxwiller SW	15,2	30,7	7,1	20,5	8,7		15,3	2,5		8,4	33,2	58,4	58,5
Saint-Quirin	Sarrebourg SE	18,2	4,3	18,1		10,3	2,8	44,0	2,1			17,5	82,5	21,5
Lutzelbourg	Saverne NW	15,7	7,5	27,6		30,1	9,6	9,5			1,0	2,1	96,9	48,5
Val-et-Châtillon (Scierie)	Cirey-sur- Vezouse NE	16,7	20,2	7,4	2,4	4,2		48,3	0,8			26,2	73,8	20,6
Jarmenil	Bruyères SW	42,6	37,2	2,2		4,2	3,2	7,5	3,1		7,9	39,2	52,9	27,8
Offemont	Belfort NW	54,9	12,5	6,1		17,3	1,2	7,5	0,5				100	19,0

TABLEAU XXXV

Minéraux lourds de la Zone-Limite-Violette

		Minéraux essentiels									Minéraux accessoires			
Localités	Carte au 1/50 000 e	Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurolite	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux blancs opaques	Pourcentage des mi- néraux accessoires
Claudon (Senennes)	Monthureux-sur- Saône NE	8,9	74,8	6,3	2,7	0,5	1,0	5,4	0,2	0,2	2,1	22,1	75,8	18,9
Fontenoy-le-Château	Plombières NW	15,6	61,8	4,2	7,2	0,8	7,0	1,7	0,6	1,1		12,2	87,8	44,5
Sénargent	Lure SW	37,0	37,1	5,1	7,4	8,2	1,7	1,5	1,1	0,9		28,2	77,8	14,3

TABLEAU XXXVI
Minéraux lourds des Couches intermédiaires

		Minéraux essentiels										Minéraux accessoires			
Localités	Carte au 1/ 50 000 e	Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurotide	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux blancs opaques	Pourcentage des mi- néraux accessoires	
Lemberg	Bitche SW	24,7	16,1	31,1			9,6	18,5				68,1	31,9	72,0	
Mitschdorf	Lembach SE	28,4	15,2	25,7	10,0	10,4	5,1		5,1	0,1		67,6	32,3	73,2	
Schoenbourg (Kreutzmühl)	Bouxwiller SW	29,1	5,2	14,2		10,7	1,7	39,1			6,3	18,7	75,0	41,2	
Walscheid	Sarrebourg SE	16,2	22,4	5,8		9,2	0,3	43,7	2,4	tr.		29,1	70,9	52,1	
Lutzelbourg	Saverne NW	40,2	17,2	34,2		3,9	0,6	3,9				18,0	82,0	73,0	
Still	Molsheim NE	35,0	5,2	21,2		14,0	6,6	18,0				13,8	86,2	52,6	
Méménil	Bruyères NW	24,0	21,2	21,7	18,1	3,0	4,5		7,5			21,6	78,4	66,0	
Rénauvoid	Epinal NE	16,7	24,4	14,0	4,8	4,8	2,4		2,5	0,4				51,2	
Charmois-l'Orgueilleux	Epinal SW	78,0	4,0	10,4			2,8	4,2		0,6		38	62	59,5	
Claudon	Monthureux-sur-Saône NE	26,0	6,6	34,1	3,4	9,1	8,4	4,9	3,6	3,9		23,1	76,9	48,2	
Plombières	Plombières SE	26,2	26,3	11,2	7,1	1,7	6,1	19,2	1,6	0,6				55,6	

TABLEAU XXXVII

Minéraux lourds du Grès à Voltzia

Localités	Carte 1/50 000 e	Minéraux essentiels										Minéraux accessoires			
		Tourmaline	Zircon	Rutile	Staurolite	Grenat	Monazite	Magnétite	Corindon	Anatase	Hématite	Muscovite	Minéraux blancs opaques	Minéraux accessibles	Pourcentage des ml-
Waldhambach	Bouxwiller NW	13,9	48,0	0,9	1,6	34,9	1,5	0,2		Tr.	5,4	31,4	61,2		
Hangviller	Bouxwiller SW	30,2	17,4		Tr.	46,2	tr.	6,2			tr.	32,1	67,9		
Vallerysthal - Trois Fontaines	Sarrebourg NE	12,2	40,1	2,2	3,4	39,6		2,5			8,0	24,4	67,6		
Wasselonne	Saverne SE	6,2	48,2		1,3	28,0	6,1	10,2		tr.	18,4	16,5	65,1		
Niederhaslach	Molsheim NW	7,3	61,4	1,6	0,8	26,7	1,4	0,5	0,3	0,1	5,8	17,5	76,7		30,5
Bréménil	Cirey-sur- Vézouse NW	2,2	65,5	0,7	2,3	1,8	0,4	5,8	0,1			26,8	73,2		
Cirey-sur-Vézouse	Cirey-sur- Vézouse NW	5,5	82,8	1,1	3,3	5,2	3,1	3,1			6,9	39,5	53,6		39,2
Rambervillers	Rambervillers NE	22,3	75,1	0,6	0,5	1,5		tr.				37,6	62,4		73,1
Jeuxy	Bruyères NW	5,2	87,1	2,1	2,4	2,8	0,2		0,2	tr.	4,6	58,1	37,3		27,9
Bainville-aux-Saules (Bonfays)	Epinal NW	8,2	49,1	6,1	tr.	12,2	2,3	22,1				44,5	66,5		74,5
Darney (Forge Kattel)	Vittel SE	13,8	14,0	8,8	4,2	12,4	0,8	44,6	1,6	0,4		46,4	53,6		79,4
Claudon (Le Hubert)	Monthureux-sur- Saône NE	13	67,6	6,8	1,2	1,6	2,0	5,0	1,4	1,4		35,2	64,8		53,9
Monthureux-sur-Saône	Monthureux-sur- Saône NE	10,5	38,6	5,2	6,5	37,4		1,8				40,6	59,4		77,6
Châtillon-sur- Saône	Monthureux-sur- Saône SW	17,6	43,8	17,4	7,0	6,6	3,1		3,0	1,5	1,0	74,8	24,2		47,0
Conflans	Luxeuil NW	14,3	18,4	16,8	10,4	19,2	2,1	14,1	3,2	1,5	4,1	21,0	74,9		66,0
Granges-la-Ville	Lure SW	9,3	62,1	2,6	2,6	12,4		8,4	2,1	1,5	1,1	45,2	53,7		43,3

CHAPITRE IV

ÉTUDE DES STRATIFICATIONS

Cette étude a pour but essentiel de reconstituer la nature des écoulements liquides et de déterminer leur sens; on sait en effet depuis longtemps que la direction de la pente des stratifications obliques ou entrecroisées indique le sens des courants par lesquels ces stratifications ont été produites.

A. — LA METHODE

Elle est connue depuis longtemps et a été utilisée notamment par R. BRINKMANN (1933) par F. FORCHE (1935) et par H. JÜNGST (1938) dans notre région ou dans des contrées voisines.

Trois types de stratifications ont pu être observés :

1° **La stratification horizontale** (pl. III, fig. D et E).

Les lits sont horizontaux à l'intérieur des bancs; il y a donc lieu non de mesurer cette stratification mais de constater simplement qu'elle existe (fig. 4, p. 35).

2° **La stratification oblique** (pl. III, fig. B et pl. IV, fig. B).

Les lits forment des plans inclinés, parallèles entre eux, parfois remplacés par des surfaces légèrement gauches, également parallèles entre elles; sur une coupe parallèle à l'axe de l'écoulement, on observe particulièrement bien ces plans (fig. 3, p. 32, et fig. 4, p. 35); mais sur une coupe perpendiculaire à cet axe d'écoulement, la trace de ces plans est constituée par une série de lignes horizontales; dans une carrière, il convient donc de rechercher dièdres et redans de façon à pouvoir observer les stratifications dans tous les sens et ne pas risquer de confondre une stratification oblique avec une stratification horizontale.

3° **La stratification entrecroisée.**

Les figures 5 (p. 36) et 25 ainsi que la figure C de la planche IV fournissent une bonne idée de l'aspect de cette stratification, observée sur une coupe perpendiculaire à l'axe d'écoulement : les bancs sont lenticulaires et se recoupent les uns les autres. Sur une coupe parallèle à l'axe de l'écoulement, ces stratifications présentent l'aspect de surfaces gauches ou de plans inclinés et parallèles entre eux. D'où la nécessité, là encore, de rechercher les dièdres et les redans afin de ne pas confondre stratification oblique et stratification entrecroisée.

4° **Mesure des stratifications.**

Elle s'effectue exactement comme pour les couches : il suffit en effet de mesurer la direction et la pente des plans de stratification; pour les stratifications entrecroisées, on effectue la mesure au centre de la lentille car si cette mesure est faite sur les bords, on ne peut avoir qu'une idée inexacte du sens de l'écoulement : dans l'exemple de la figure 26, il est certain que si l'on désire connaître le sens véritable de l'écoulement, c'est en B qu'il conviendra d'effectuer une mesure et non en A ou en C.

Enfin dans tous les cas où les bancs ont été déformés ou déplacés après leur dépôt (compartiments basculés dans des champs de fracture, plissements, gauchissements), il convient de mesurer la valeur de



FIG. 25. — Stratification entrecroisée dans le Grès vosgien : le Haut-Barr près de Saverne (Bas-Rhin) - (dessin d'après photographie)

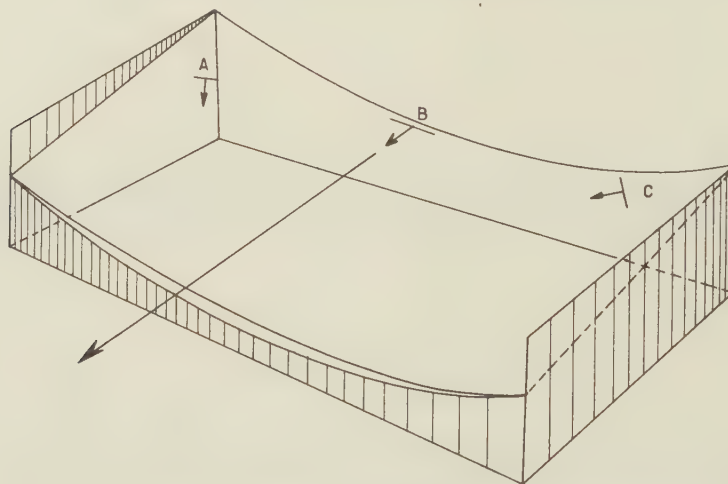


FIG. 26. — Exemple de mesure du sens de l'écoulement des courants dans un banc

ces déplacements (pendage des couches) afin de pouvoir rétablir les plans de stratification dans leur position originelle; cette opération s'effectue facilement au moyen du canevas de WULFF; nous l'avons faite pour chacune de nos mesures.

5° Représentation des mesures.

a) *Au moyen des tableaux XXXIX à XLIV*, pp. 170 à 179.

Dans ces tableaux et pour chaque affleurement, nous avons noté :

— le numéro d'affleurement : la numérotation va de 1 à n pour chaque feuille de la carte topographique de la France au 1/50 000; on retrouve ces numéros d'affleurement sur la planche II, dans les cartouches qui servent d'empenne aux flèches indiquant le sens des courants;

— le nom de la commune sur le territoire de laquelle se trouve l'affleurement mesuré;

— la distance, en kilomètre, de cet affleurement à l'église du village et son orientation par rapport à celle-ci;

— les coordonnées Lambert (I zone nord ou II zone centrale; une astérique signale les cartes où figure seulement l'ancien carroyage Lambert : zone nord de guerre);

— dans la colonne réservée à la stratification horizontale, une croix si une telle stratification a été observée;

— dans la colonne réservée à la stratification oblique, chaque groupe de deux chiffres représente la moyenne de plusieurs mesures; le premier chiffre indique la direction vers laquelle s'incline la ligne de plus grande pente du plan de stratification et, par conséquent, l'azimut du vecteur représentant le sens du courant; le deuxième chiffre indique la valeur de la pente du plan de stratification. Ex : $135^{\circ}/9^{\circ}$ signifie un courant dirigé du NW vers le SE (cf. rose des vents figurés sur la carte-planche II) et le plan de stratification pend de 9° vers le SE; $315^{\circ}/9^{\circ}$ signifie un courant dirigé du SE vers le NW et ayant une pente de 9° vers le NW. Quand plusieurs directions très différentes les unes des autres ont été observées,

elles ont été notées et, si l'une d'elles est plus fréquente que les autres, le chiffre qui la représente est en italique.

— la colonne réservée à la stratification entrecroisée a été conçue suivant les mêmes principes que précédemment.

b) Au moyen de la planche II.

Sur cette carte, chaque flèche a la même direction que la ligne de plus grande pente du plan de stratification qu'elle représente et elle indique par conséquent le sens du courant : la pointe a été supprimée pour ne pas surcharger le dessin et un cartouche, à l'intérieur duquel figure le numéro de l'affleurement représenté, a été placé en guise d'empenne.

Les stratifications obliques ont été représentées par des flèches simples tandis qu'un petit tiret transversal orne la queue des flèches représentant les stratifications entrecroisées.

B. — LES FAITS ET LEUR INTERPRETATION

1° Nature des écoulements liquides.

a) Les stratifications horizontales accompagnent les dépôts très fins de type pelliculaire s'effectuant dans les fonds de cuvette et sont l'indication d'une sédimentation en eau très calme. Ce type de stratification prédomine surtout dans le Grès à Voltzia mais on le rencontre souvent aussi dans le Grès vosgien et dans les Couches intermédiaires supérieures.

b) Les stratifications obliques et régulières présentent une pente comprise :
entre 10 et 20° pour le Grès vosgien, le Conglomérat principal et les Couches intermédiaires;
entre 4 et 16° pour le Grès à Voltzia (cf. tableau XXXVIII).

Ces stratifications obliques semblent indiquer des fronts plus ou moins pentus de nappes deltaïques sous-aquatiques.

c) Les stratifications entrecroisées.

Effectuées sur des affleurements assez vastes (fig. 25), nos mesures permettent d'évoquer des chenaux divagants, se coupant et s'entrecoupant les uns les autres dans de vastes plaines d'inondation basses, plates et à fond subsident. On peut observer et mesurer de telles divagations dans les Couches intermédiaires supérieures — par exemple aux *Harcholins* (feuille de Cirey-sur-Vezouse, affleurement n° 8) — et dans le Grès à Voltzia — par exemple à *Domptail* (feuille de Lunéville, affl. 1), à *Frain* (feuille de Vittel, affl. 1), à *Châtillon-sur-Saône* (feuille de Monthureux-sur-Saône, affl. 11), à *Fougerolles* (feuille de Plombières, affl. 20), à *Saint-Germain* (feuille de Giromagny, affl. 4), à *Osenbach* (feuille de Neuf-Brisach, affl. 2), etc.

Parfois des cours d'eau de 15 à 20 mètres de largeur sont bien visibles : à *Lohr*, à *Petersbach*, à *Domptail*, à *Pexonne*, dans le Grès à Voltzia; au *Void d'Escles*, à *Renauvold* dans les Couches intermédiaires supérieures; à *Ban-de-Sapt (Launois)* dans le Permien.

La pente de ces cours d'eau n'est pas la même dans toutes les formations (tableau XXXVIII), assez forte dans le Grès vosgien, dans le Conglomérat principal et dans les Couches intermédiaires inférieures, elle diminue nettement dans les Couches intermédiaires supérieures et dans les Grès à Voltzia où ces cours d'eau étaient sans doute très lents.

d) Passage vertical d'un type de stratification à un autre type.

— Dans un même banc, on peut observer le passage d'une stratification oblique à la base du banc à une stratification entrecroisée au sommet. Ceci évoque assez bien le remplissage rapide d'une cuvette (stratification oblique et régulière) suivi par l'installation de cours d'eau terrestres après que ce remplissage a été total (Exemple : Bruyères-Haut de Helderay, affl. 16, carrière de Grès vosgien).

— Dans un même banc toujours, on peut observer le passage d'une stratification oblique qui occupe la base du banc à une stratification horizontale qui couronne ce banc. Ce fait très fréquent évoque un cycle qui débute par une arrivée massive de sédiments dans une cuvette, puis une accalmie apparaît et le cycle s'achève par une sédimentation tranquille et peu abondante; parfois même un lit d'argile couronne le tout (fig. 3, p. 57).

TABLEAU XXXVIII

Répartition en % de la valeur en degrés de la pente des stratifications dans le Buntsandstein moyen et supérieur

Formations	Stratification	1 à 5°	6 à 10°	11 à 15°	16 à 20°	21 à 25°	26 à 30°
Grès à Voltzia	oblique entrecroisée	8 % 25 %	19 % 32 %	45 % 35 %	27 % 6 %	1 % 2 %	
Couches intermé- diaires supérieures	oblique entrecroisée	2 % 18 %	23 % 41 %	36 % 14 %	36 % 9 %	3 % 18 %	
Couches intermé- diaires inférieures	oblique entrecroisée		20 % 12 %	31 % 38 %	40 % 50 %	9 %	
Conglomérat principal	oblique entrecroisée		16 % 46 %	47 % 23 %	25 % 31 %	10 %	2 %
Grès vosgien	oblique entrecroisée	10 % 3 %	14 % 29 %	43 % 43 %	27 % 19 %	4 % 6 %	2 %

2° Sens des écoulements (planche II).

a) *Dans le Permien*, la stratification est rarement horizontale, mais très souvent oblique et entrecroisée. Les écoulements ont des directions capricieuses: aucune direction préférentielle ne peut être décelée, sauf peut-être vers le sommet du Permien, où se manifeste une très légère tendance vers l'installation de courants venant de l'W.

b) *Dans le Buntsandstein inférieur et moyen et dans les Couches intermédiaires*, les courants sont caractérisés par des sens d'écoulement bien définis.

a) *Depuis Darney jusque dans le Palatinat*, tout le long de la bordure occidentale des actuels affleurements de Buntsandstein, les écoulements se font régulièrement dans le sens SW-NE, tandis que, plus près des Vosges cristallines, les courants, plus irréguliers, semblent être dominés par la topographie locale (ex. : région de Saint-Dié où un courant de sens NW-SE se manifeste nettement, cette observation est à rapprocher de celle du même ordre qui a été formulée à propos de l'étude des galets (p. 140).

β) *Depuis Darney jusqu'à Belfort*, le sens des écoulements se fait plutôt de l'W vers l'E.

γ) *En Alsace*, les courants sont dirigés de l'W vers l'E; il est manifeste que durant cette époque, la chaîne des Vosges fut recouverte en totalité, comme en témoigne le petit affleurement de Grès vosgien situé au Rossberg (Col du Bonhomme).

TABLEAU XXXIX

Stratification dans le Conglomérat inférieur

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratification horizontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
10	<u>Feuille de Boulay</u> Ludweiler	0,8 E	926,25	178,85		45/9 - 117/9	
8	<u>Feuille de Lembach *</u> Windstein (ruine)	0,5 N	496,1	244,3		100/14 ; 120/9 ; 120/16	90/10 ; 105/15 115/12
19	<u>Feuille de Bruyères *</u> Bruyères	1,350 ESE	425,9	157,1	X		120/17

c) *Dans le Grès à Voltzia.*

α) *De Darney à Phalsbourg*, les courants sont plutôt dirigés du SW vers le NE; *au N de Phalsbourg*, dans la région de la Petite Pierre, les courants semblent au contraire provenir du NW et se diriger vers le SE, ce que L. GRAUVOGEL avait déjà remarqué (1947a).

β) *Dans le Sud*, les écoulements semblent contourner les Vosges Hercyniennes : *de Darney à Belfort*, les courants sont plutôt dirigés du NW vers le SE et tout au long de *l'Alsace*, ces courants sont dirigés du S vers le N ou même du SSE vers le NNW. Tout se passe donc comme si, à l'époque du Grès à Voltzia, les courants contournaient les Vosges hercyniennes par le sud et en léchaient simplement la bordure.

C. — CONCLUSION

1° L'étude des stratifications nous a permis de préciser la *nature très diverse des écoulements liquides du Permien et du Buntsandstein* : dépôts de fond de cuvette en eau calme, dépôts de fronts de delta sous-aquatiques, dépôts aériens de chenaux divaguant sur une surface peu inclinée.

2° Plusieurs milliers de mesures effectuées à tous les niveaux du Trias inférieur et sur toute l'étendue des Vosges Gréseuses depuis Belfort jusqu'au Palatinat nous ont permis de *reconstituer non seulement la direction générale et le sens de l'écoulement des cours d'eau aux diverses époques du Buntsandstein mais encore de préciser des variations locales en divers bassins*. La direction générale des courants s'effectuait le plus souvent du SW vers le NE, moins fréquemment de l'W vers l'E et plus rarement encore (et surtout au N de la chaîne) du NW vers le SE.

Tous les matériaux accumulés dans cette région durant cette période pourraient donc provenir du « Gallisches Land » de Brinkmann et, nous le précisons plus loin, d'un continent situé à l'emplacement actuel du seuil Morvano-vosgien.

Jusqu'à l'époque du Grès à Voltzia, les Vosges Hercyniennes furent vraisemblablement balayées par les courants venus de l'W, mais à partir de l'époque du Grès à Voltzia, ces courants se contentaient sans doute de lécher le pourtour de ce massif.

TABLEAU XL
Stratification dans le Grès vosgien

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au Clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
1	<u>Feuille de Waldwisse</u> Bethingen	Sortie SW	903,55	203,80		32/8 ; 42/23 100/23	80/6
2	Weiler	0,150 SW	906,3	203,75		48/22	
3	Schwemlingen	Sortie SW	907,65	205,2		44/6	
4	Hilbringen	0,6 SE	910,4	201,9	X	36/15	
9	Wahlen*	2,2 ENE	923,75	209,1		35/20	
13	Ober-Limberg	0,5 NW	914,7	191,85	X	170/12	
15	Pachten	0,950 SW	916,85	192,75		140/18 - 166/8 320 - 10	
16	Nieder-Limberg	0,8 NNE	918,05	191,15	X	0/20 - 220/10	
18	Beckingen*	2,250 SE	917,6	195,7		45/15 - 105/10	
18	Beckingen	2,1 SE	917,5	195,8		30/15 - 50/14 - 130/10 - 310/22 - 344/15 - 350/20 0/20	
21	Düppenweiler *	1,1 WSW	920,2	199,5	X		
3	<u>Feuille de Boulay</u> Berus	0,2 E	917,6	183,3		115/20	125/7
5	Ensdorf *	1,8 SSE	923,2	186,3		50/10 - 110/10 - 0/20 - 280/15	300/5
6	Bous	0,650 SE	925,15	184,45		150/20 - 210/15	
6	<u>Feuille de Walschbronn*</u> Nieder-Würzbach	0,750 ENE	462,1	271,85		90/8 - 130/15	170,23
7	Lautzkirchen	1,050 WSW	464,1	272,4		180/20	
8	Lautzkirchen	0,5 NW	464,7	272,8		0/15 - 20/5 - 65/3	
5	Einöd	1,3 SW	468,95	273,4	X	135/10	
2	<u>Feuille de Bitche</u> Liederschiedt	1,1 W	975,25	170,7	X	90/8 - 15	120/10 - 230/15
9	Haspelschiedt	0,750 SSW	975,55	166,05	X	0/20	
10	Bitche	8,7 E	980,5	163,8		90/5	
4	<u>Feuille de Lembach*</u> Climbach (Col du Pigeonnier)	2,7 NE	511,0	247,2		90/15	120/19
5	Climbach	3,650 NE	511,8	247,75		95/12 ; 80/17	
6	Cleebourg	1,2 NNE	511,3	246,05	X	82/16 ; 20/12	
7	Lobsann	1,9 NW	506,8	241,7		90/15	
10	Nieder bronn*	2,1 NNE	493,95	240,95		65/5 ; 85/10 ; 95/10	90/10
12	Philippsbourg	0,9 SSE	488,05	241,6		90/20	
13	Philippsbourg (ruine de Falkenstein)*	2,6 N	487,6	245,0		100/15	
11	<u>Feuille de Bouxwiller</u> Ingwiller	2,350 NW	975,3	144,85		90/16 - 90/19	100/15 - 60/15
12	Lichtenberg	Château	977,0	148,7		30/15	90/15
13	Lichtenberg	1,8 ENE	978,3	149,2		5/9 - 16/22	110/15
14	Rothbach	0,9 NW	979,7	147,9		105/25 - 110/28	90/12 - 85/12 80/12 (Sm ²)
15	Offwiller (réservoir)	0,750 WNW	980,1	147,8			120/25
15	Offwiller (carrière)	0,550 WNW	980,5	147,7			90/15
31	Ernolsheim-Saverne (Zellerhof)	2,150 NW	968,35	134,25			90/12
32	Ernolsheim-Saverne	0,250 N	970,4	133,3			
1	<u>Feuille de Haguenau</u> Zinswiller (Zigelberg)	0,9 NW	983,6	149,3		20/11-40/10-50/16 - 95/14-130/16-140/12	
4	<u>Feuille de Sarrebourg*</u> Saint-Louis	0,75 S	459,85	212,35		65/23-88/18-35/15	
17	Walscheid	1,05 SSE	457,15	205,25		70/12	
1	<u>Feuille de Saverne</u> Henridorf	1,350 SSW	957,7	125,2		102/12 - 125/14	110/9
3	Carrebours	1,1 NE	960,7	124,8		40/20-45/20 - 90/4	
4	Lutzelbourg	0,5 NE	961,3	127,0	X	100/10	
5	Lutzelbourg	1,2 N	961,0	127,8	X	90/15	
7	Saint-Jean-Saverne (Rocher Saint-Michel)	0,4 N	969,25	131,75	X	70/15	70/14 - 115/15 105/12
9	Stambach	4,650 SW (de Saverne)	965,45	125,25			
10	Saverne	Le Haut-Barr	968,0	126,3	X	38/12-76/16	
11	Haegen (Le Brotschberg)	1,5 WSW	967,0	124,8		50/20	
19	Marlenheim (Le Kronthal)	1,7 NW	978,2	116,5	X	96/10	130/6

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au Clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
9	<u>Feuille de Lunéville*</u> La Chapelle	2,5 NW	428,1	181,75	X	135/12 - 135/25	
4	<u>Feuille de Cirey-sur-Vézouse</u> Val-et-Châtillon	0,650 SSE	941,75	105,0	X	50/15	
	Val-et-Châtillon	2,8 NE	943,4	107,8		45/15 - 76/11-90/20	
9	(carrière de Châtillon)					110/15	
	Turkestein (Roche de		945,9	104,0		110/13	
19	Todlaine)					95/10	
	Le Donon						
5	<u>Feuille de Molsheim</u> Heiligenberg (station)	1,3 SSW	972,5	104,3	X	170/15 - 120/3	
10	Boersch	0,950 W	976,1	99,0	X		
12	Mont Sainte Odile				X		
6 bis	<u>Feuille de Rambervillers*</u> La Neuveville-les-Raon	2,1 SW	432,6	177,15		40/8	95/10
1	<u>Feuille de Saint-Dié</u> Etival-Clairefontaine	1,3 NNW	935,2	85,2		125/16	
	(La Pierre d'Appel)						
11	Plaine (carrière	3,0 WNW	953,3	90,2		320/20 - 20/15	
14	Wenger, Petit et Cie)		958,5	83,2		110/10	
16	Le Climent						
	Saint-Dié (Roche	1,3 SW	940,9	74,6		180/18-340/17	
	Saint-Martin)						
20	Montagne d'Ormont		944,8	77,5	X	158/11	
	(Roche des Fées)						
3	<u>Feuille de Sélestat</u> La Vancelle (Le	0,8 NE	968,7	78,2		20/15 - 0/25	88/15
	Jungwald)						
7	<u>Feuille d'Epinal</u> Chantraine (Roche					70/15-160/15	130/10
	d'Olima)					40/12	
9	Epinal	0,4 ESE					
10	Epinal (Fort de	2,3 SE				132/18	
	la Mouche)					42/20	
15	Charmois l'Orgueilleux	0,5 NNW					
14	<u>Feuille de Bruyères*</u> Docelles (Bois de	1,0 NNW	416,8	151,1	X	20/10	112/18
	la Meule)	1,8 WSW	422,8	157,3	X		110/5 - 120/10
16	Bruyères (Haut de						130/15
	Heldraye)						240/3
17	Bruyères	1,0 WNW	423,55	157,75	X	135/3	50/11 - 66/19
23	Biffontaine	0,350 E	431,20	157,35	X	96/13-106/5	85/20 - 144/16
						138/9	
3	<u>Feuille de Gérardmer</u> Labaroche (Le Grand	3,3 SSW				60/12	
	Hohnack						
1	<u>Feuille de Colmar</u> Aubure (Ferme	2,7 NNE	963,3	69,6	X	60/3 - 35/8-6/13	108/22-130/16
	Adelspach)	2,6 SSW	962,7	64,3		106/12 - 120/11 -	
3	Fréland (Le Kalblin)	d'Aubure				134/10	
4	Kaysersberg (Le Vorhof)	3,2 W	963,2	60,2			
1	<u>Feuille de Neuf-Brisach</u> Voegtlinshoffen	0,9 WNW	967,8	347,85		66/15	
5	<u>Feuille de Lure</u> Lomont	0,3 SSE	921,5	299,9			90/18
1	<u>Feuille de Belfort</u> Offemont	1,2 NW	940,4	306,8		332/17	

Nota. — Les localités marquées d'une (*) sont situées dans le Grès vosgien inférieur.

TABEAU XLI
Stratification dans le Conglomérat principal

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
6 7 8 19	<u>Feuille de Waldwisse</u> Brotdorf Honrath Wahlen Beckingen	0,7 SE 0,5 NNE 1,3 WNW 1,2 SW	914,65 918,7 920,5 915,15	204,9 202,0 208,2 196,8	X X	45/3 ; 70/15 20/18 ; 285/12 0/20 30/10	
1 3 9	<u>Feuille de Boulay</u> Beaumarais Bérus Porcellette	2,6 W 0,2 E 0,950 SW	916,2 917,6 913,9	188,75 183,3 170,4	X	305/8 0/6 - 25/13 - 340/13 30/20	100/25 140/8
1 2 4	<u>Feuille de Walschbronn</u> * Limbach Homburg (Le Schlossberg) Einöd	0,9 SE 0,4 E 0,650 NW	467,3 471,75 469,55	279,25 280,3 274,9		100/7 65/15 - 160/5	340/10 45/10
2	<u>Feuille de Bitche</u> Liederschiedt	1,1 W	975,25	170,7	X	90/10 - 40/20	
7 8 28 29 30	<u>Feuille de Bouxwiller</u> Frohmühl (Le Langeck) Volksberg Danne-et-Quatre-Vents (Chalet Fouquet) La Petite-Pierre (Citadelle) La Petite-Pierre (Roche du Corbeau)	1,2 NE 2,2 SSW 2,2 N 0,3 ESE 1,05	962,9 963,0 964,0 965,6 965,3	147,0 148,4 132,3 140,2 139,15		35/15 - 120/20 100/13 47/12 - 67/17 - 57/22	58/8 - 135/11 100/10
4 5 12 15 16	<u>Feuille de Sarrebourg</u> * Saint-Louis Saint-Quirin Hommert (Le Rehthal) Walscheid Walscheid (Saint-Léon)	0,75 S 0,8 SE 1,4 NNW 0,4 SW 1,6 SSW	459,85 449,85 458,6 456,7 456,55	212,35 201,6 210,2 206,0 204,75		35/13 - 20/20 - 52/12 90/11 40/20 - 70/30 100/17 - 124/18 - 168/14 75/11	10/18
3 5 7 11	<u>Feuille de Saverne</u> Garrebourg Lutzelbourg Saint-Jean-Saverne (Rocher Saint-Michel) Haegen (Le Brotschberg)	1,1 NE 1,2 N 0,4 N 1,5 WSW	960,7 961,0 969,25 967,0	124,8 127,8 131,75 124,8		40/20 50/20 - 90/15 95/17 40/12 - 135/10	45/20 140/10
7 8	<u>Feuille de Lunéville</u> Baccarat (Humbepaire) Baccarat (la Rochette)	2,0 SE 1,6 SSE	428,1 426,8	182,7 182,3		44/12 - 70/15 90/15 - 150/10 70/20 - 85/20 - 170/8	28/13
4 7 16 17	<u>Feuille de Cirey-sur-Vezouse</u> Val-et-Châtillon Val-et-Châtillon (carrière de Châtillon) Pierre Percée (Château) Allarmont (Tête du Coquin)	0,650 SSE 2,8 NE 0,150 NW 3,3 S	941,75 943,4 939,3 945,6	105,0 107,8 95,8 94,3		70/15 45/20 - 4/13 - 38/13 10/15 - 75/10 20/12 - 80/10 - 100/10	
1 4 10 12	<u>Feuille de Molsheim</u> Oberhaslach (Château de Ringelstein) Heiligenberg (Rocher du Corbeau) Boersch Mont Sainte-Odile	1,2 NW 2,5 SW 0,950 W	967,9 971,1 976,1	107,7 103,8 99,0		40/10 - 135/12 45/27 - 90/15 2/17 10/10 - 45/15 - 90/10	100/10
6 11	<u>Feuille de Rambervillers</u> * Saint Benoît-la-Chipotte Housseras (Les Angles)	1,8 NE 2,05 SE	427,3 425,15	174,6 166,75		40/10 50/12 - 80/15	
21	<u>Feuille de Saint-Dié</u> Montagne d'Ormont (Roche du Hoff)		946,2	78,2		134/7	
	<u>Feuille de Sélestat</u> La Vancelle (Le Jungwald)	1,4 NE	969,2	78,2		90/14	
7	<u>Feuille de Vittel</u> Relanges	0,6 W	873,3	52,3		45/11	
13 19 21	<u>Feuille d'Épinal</u> Charmois l'Orgueilleux Renauvoid (La Verrière) Dounoux (Bois Hennotte)	1,0 NW 0,05 E de l'école 1,6 NE				50/15 70/12 85/12	

15	<u>Feuille de Bruyères*</u> Lépanges (Tête de Saint-Pierremont)	1,9 NNW	420,05	155,05		62/9	
24	Biffontaine	1,1 NNE	431,05	158,4		22/11 - 32/5	
25	Biffontaine	2,3 NE	432,6	158,9		114/11-130/25-156/20	
26	Archette	0,750 NW	409,7	148,4			57/12
29	Jarménil	1,1 NE de Pouxoux	414,1	146,3		100/10-124/14-145/6	30/10
4	<u>Feuille de Gérardmer</u> Labaroche (Le Grand Hohnack)	3,3 S				45/24	
10	<u>Feuille de Plombières-</u> <u>Les Bains</u> Xertigny (Le Gueu du Saut)	4,8 S	903,3	341,3		68/18	
11	Bellefontaine (Les Gouttes)	3,4 NE	904,8	340,3		76/11-85/14 -94/16	
1	<u>Feuille de Belfort</u> Offemont	1,2 NW	940,4	306,8		232/4	

TABLEAU XLII
Stratification dans les Couches intermédiaires inférieures

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au Clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
7 14 19 20	<u>Feuille de Waldwisse</u> Honzrath Ober-Limberg Beckingen Haustadt	0,5 NNE 0,9 NE 1,2 SW 1,4 SW	918,65 915,85 915,15 917,2	202,0 192,3 196,8 198,75		135/5 180/18 14/11 90/15 - 68/11	
4 7 9	<u>Feuille de Boulay</u> Bérus Guerting Porcellette	0,650 SSE 0,250 NNW 1,1 SW	917,6 912,0 913,75	182,6 174,6 170,35		45/20-90/20-125/20 90/11	160/13
10	<u>Feuille de Walschbronn*</u> Mimbach	0,8 SE	466,6	269,45		110/5	160/5
5	<u>Feuille de Bitche</u> Hottviller	1,05 WSW	965,8	165,05		40/10-90/10	
3 10 21 27	<u>Feuille de Bouxwiller</u> Adamswiller Soucht Schoenbourg (Kreutzmühl) Danne-et-Quatre-Vents (Chalet Fouquet)	1,1 NE 0,350 SSE 1,5 SSW 2,25 W	956,8 965,9 961,7 963,75	146,05 151,5 136,0 132,4		135/13 100/18-120/18-145/18 80/15 45/12 - 20/15	30/10-22/15-15/20
4 11	<u>Feuille de Sarrebourg*</u> Saint-Louis Trois-Fontaines (Wallerysthal)	0,550 SSW 1,2 NE	459,7 455,2	212,5 209,15		50/7-75/12-90/17	74/14-88/9
13	<u>Feuille de Saverne</u> Marmoutier (Sindelsberg)	1,8 NNW	969,85	123,6		120/20 -144/18-172/6	
4 5	<u>Feuille de Cirey-sur-Vezouse</u> Val-et-Châtillon Val-et-Châtillon	0,6 SE 1,3 NNW	942,05 941,3	105,2 105,9		20/14-38/17 60/10	
4	<u>Feuille de Vittel</u> Bleurville (Rocher du Mulot)	2,7 NW	868,7	48,7	X	90/25	
14	<u>Feuille d'Epinal</u> Charmois-l'Orgueilleux	0,7 NW				30/20 -65/25-100/22	60/12-90/18-100/15
7 8 9	<u>Feuille de Monthureux- sur-Saône</u> Claudon (La Roche Vinalgre) Claudon (N-D de la Source) Claudon (Senennes)	0,5 NNW 1,0 NE 2,3 NE	875,5 876,3 877,5	344,0 344,3 344,9		75/20 118/15 100/17	
10 19	<u>Feuille de Plombières- les-Bains</u> Xertigny (Le Gueu du Saut) Fougerolles (Les Mougins)	4,8 S 2,8 NNE	903,3 904,7	341,3 331,2	X	40/15 150/15	

TABLEAU XLIII
Stratification dans les Couches intermédiaires supérieures

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au Clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
7 11 12 17	<u>Feuille de Waldwisse</u> Honrath Kerprich-Hemmersdorf Guisingen Rehlingen	0,5 NNE 2,1 ENE 0,5 NW	918,6 912,45 913,3 914,85	202,0 192,8 190,95 195,75		100/5-150/10 20/10 125/10 54/3	80/10
7 9	<u>Feuille de Boulay</u> Guerting Porcellette	0,400 NNW 1,2 SW	912,0 913,70	174,8 170,25		110/15 60/20	
12 13	<u>Feuille de Walschbronn*</u> Schweyen "	1,6 WNW 2,0 WSW	473,3 472,9	262,7 260,8	X	110/15	90/10
16	<u>Feuille de Bitche</u> Lemberg	0,9 SE	969,0	156,7	X	40/30-60/20-80/13	
11 14	<u>Feuille de Sarrebourg*</u> Trois Fontaines (Vallerysthal) Walscheid	1,2 NE 1,0 WSW	455,2 456,0	209,15 206,0	X		74/14-88/9
2 8 15 16	<u>Feuille de Saverne</u> Garrebourg Saverne Dimbsthal Birkenwald	0,550 NE 1,750 NW 0,850 WSW 0,8 W	960,2 968,1 968,9 968,1	124,3 129,0 119,7 118,45	X	45/20 -270/15 90/10-110/15 -120/20 58/17 50/15	350/20
8	<u>Feuille de Cirey-sur-Vezouse</u> Lafrimbole (Les Harcholins)	1,3 NW	943,7	110,2		60/8-86/20	40/22 -84/20-114/15
6	<u>Feuille de Molsheim</u> Dinsheim	1,2 WNW	974,45	106,4	X		350/3
4 5 8	<u>Feuille de Rambervillers*</u> Bru Jeanmenil Sainte-Hélène	0,4 NW 1,5 ENE 1,8 S	421,65 423,75 420,1	173,1 171,4 164,5	X	110/8 30/25	45/4 70/10-85/10
4 5 12 18 20	<u>Feuille d'Epinal</u> Chaumousey (Abbaye) Sanchev (réservoir de Bouzey) Escles (Le Void) Renauvoid (Mainbourg) Renauvoid (Basse Henri)	1,5 S 2,2 SE 1,3 S de l'école 0,7 NE de l'école			X	58/20 -117/17-150/19 80/10	90/8 70/8 30/5 à 30/10
3 27	<u>Feuille de Bruyères*</u> Jeuxy Archette (L'Ermitage)	2,1 SSE 1,4 NE	407,8 411,25	154,4 148,85	X X	34/14	130/21
3 5 8 9 11 12	<u>Feuille de Monthureux- sur-Saône</u> Monthureux (Roche du Père Maire) Monthureux (Vallon de Préfonrupt) Claudon (Droite-val) Hennezel (Clairey) Châtillon-sur-Saône Châtillon-sur-Saône	0,7 SE 2,2 SE 1,0 NE 2,0 SSW 1,2 SW 1,4 SW	871,5 872,6 876,2 881,6 864,2 864,4	342,9 342,0 344,4 344,4 333,0 332,6	X	100/10 60/12-100/10 88/16-100/14 -114/11 185/17 150/4 30/15-65/12-100/10	
12 17 19 21	<u>Feuille de Plombière- les-Bains</u> Bellefontaine Les Granges-de Plombières Fougerolles (Les Mougins) Fougerolles (Le Château)	2,2 NE 1,1 W de Plombières 2,8 NNE 2,9 NE	904,8 906,9 904,7 906,2	341,3 337,6 331,2 330,5	X	154/19 25/20-140/10 150/15 -240/10 02/10	
1	<u>Feuille de Giromagny</u> Belmont (Les Têtes Vernot)	1,0 SSW	912,0	317,05		28/14-260/8	

TABLEAU XLIV
Stratification dans le Grès à Voltzia

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au Clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
	<u>Feuille de Waldwisse</u>						
5	Bietzen	1,1 WSW	912,4	199,35	X		50/5
6	Brotdorf	0,7 SE	914,65	204,9	X	30/6	60/7
7	Honzrath	0,5 NNE	918,6	202,0	X	98/12	90/5
10	Ihn	0,750 NNE	910,2	189,9	X		38/10-190/6
17	Rehlingen		914,85	195,75		128/4	
	<u>Feuille de Boulay</u>						
2	Felsberg	1,0 NNW	916,4	186,9	X	50/10 - 0/10	125/5
8	Porcelette	1,3 SW	913,6	170,1	X	0/20-55/13-150/15	
	<u>Feuille de Walschbronn*</u>						
9	Bliescastel	0,8 SW	464,6	270,3	X	98/10	75/9
11	Breitfurt	1,0 SSE	464,7	265,4	X		
	<u>Feuille de Bitché</u>						
1	Volmunster	0,55 SE	966,45	169,85	X		60/5
3	Bettviller	2,7 E	963,7	165,55	X		
4	Petit-Rederching	1,9 ESE	964,9	162,8	X		
6	Hottviller	1,1 SE	967,5	164,05	X		
7	Schorbach	2,3 SW	968,7	163,85	X		
8	Schorbach	2,3 SSW	969,4	163,4	X		
11	Rahling	2,3 ESE	958,95	154,75	X	125/16	87/10
12	Butten	1,5 NE	958,3	153,85	X		
13	Butten	1,4 NE	958,4	153,7	X		
14	Montbronn	1,5 E	964,75	156,0	X		
	<u>Feuille de Bouxwiller</u>						
1	Waldhambach	1,5 W	955,8	149,8	X	16/4 et 210/5	
3	Adamswiller	1,0 NE	956,7	146,05	X		
4	Tieffenbach	0,5 WNW	959,55	145,6	X		
5	Struth	0,7 SE	961,4	143,6	X		
6	Weisingen	0,425 S	960,7	147,5	X		
9	Volksberg	0,450 SE	963,5	150,2	X	140/12	135/8
16	Ottwiller	1,1 W	958,0	140,7	X		135/5
17	Lohr	0,7 S	959,95	139,9	X		120/6
19	Pettersbach	0,450 SE	962,3	141,0	X		90/12
20	Schoenbourg	0,450 WNW	961,45	137,65	X		40/20
23	Bust	1,6 SW	960,7	136,0	X		
24	Hangwiller	0,6 SE	960,0	134,75	X	40/10	
25	Vilsberg	0,5 SW	960,4	132,1	X		
26	Phalsbourg (Buchelberg)	2,5 N	962,6	132,6	X		
	<u>Feuille de Sarrebourg*</u>						
1	Niederviller	1,1 E	454,85	212,75	X		80/15
2	Arzwiller	0,550 NE	458,4	213,6	X		
4	Saint-Louis	0,5 SW	459,5	212,75	X		
6	Métairies-de-Saint-Quirin	3,0 NW	448,6	203,55	X	170/13	
7	Barville (Cubolot)	0,2 SE (de la Mairie)	449,0	206,0	X	75/16	
9	Hartzwiller	2,0 NE	453,55	209,35	X		
10	Trois-Fontaines (Vallerysthal)	2,0 NE	455,6	209,9	X		74/14 - 88/9
	<u>Feuille de Saverne</u>						
12	Thal-près-Marmoutier	2,8 NNW (de Marmoutier)	969,55	125,0	X		0/5
14	Reinhardsmunster	1,2 NE	967,5	121,2	X		
17	Allenwiller	0,5 WSW	970,65	118,0	X	136/16 - 203/16	320/8
18	Wasselonne	1,8 W	974,5	116,0	X	256/16 - 355/12	38/6 - 330/2 - 340/11
	<u>Feuille de Lunéville*</u>						
1	Domptail	1,2 S	417,25	182,45	X	235/15	120/4-270/3-90/7
2	Ménarmont	0,5 E	419,55	180,65	X		70/10
3	Deneuvre	0,9 W de Baccarat	425,65	185,05	X		
4	Baccarat (Criviller)	2,3 NE	427,35	185,7	X	188/16	105/14
5	Merviller (Les Carrières)	1,2 ENE	430,25	187,5	X	82/14	
	<u>Feuille de Cirey-sur-Vezouse</u>						
1	Bréménil	0,6 NW	937,4	101,4	X		
5	Val-et-Châtillon	1,5 NNW	941,0	107,0	X		
6	Cirey-sur-Vezouse	1,5 SE	941,25	108,0	X		
11	Neufmaisons	0,650 SE	933,9	93,8	X	45/6	
13	Péxonne	1,4 SE	935,8	96,2	X	50/5	
14	Fenneviller	1,0 ESE	936,6	97,2	X	90/6	
15	Badonviller	0,5 SW	936,4	98,4	X		
	<u>Feuille de Molsheim</u>						
2	Balbronn	3,8 W	972,25	110,8	X		285/9
3	Niederhaslach	1,5 E	970,8	106,0	X		
7	Gresswiller	1,8 SSW	975,8	103,4	X		314/16
8	Soultz-les-Bains	0,8 E	980,45	109,8	X		334/8
9	Rosheim	3,3 WSW	976,2	100,3	X		315/18

n° d'affleu- rement	Localités	Distance au Clocher (en km)	Coordonnées Lambert		Stratifica- tion hori- zontale	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
			x	y			
	<u>Feuille de Rambervillers*</u>						
1	Sainte-Barbe	0,8 NW	424,5	178,4	X		70/5
2	Ménil-sur-Belvitte	0,9 S	422,65	176,2	X		
3	Rambervillers (Métendal)	1,8 NNE	419,4	174,0	X		
7	Destord	1,3 ESE	418,6	164,0	X	45/5-90/15 -125/10	
9	Sainte-Hélène	1,3 SE	420,6	165,1	X	50/11-86/12 -130/12	
10	Sainte-Hélène	2,1 SE	420,7	164,3	X	96/19 -160/13	
	<u>Feuille de Vittel</u>						
1	Frain	1,9 SE	864,8	47,4	X	90/10-290/10	102/5
2	Provençères-les-Darney	0,8 SW	869,2	53,1	X		
3	Bleurville	2,7 NW	869,0	48,9	X	20/5	
6	Nonville	1,650 N	872,15	50,3	X		
9	Darney	1,25 SE	877,0	48,65	X		
12	Jesonville (Joncey)	2,6 SW	879,5	52,3	X	35/13	
	<u>Feuille d'Épinal</u>						
1	Bainville-aux-Saules (Bonfays)	1,2 S			X		72/16 -96/10-180/14
2	Pont-les-Bonfays	0,6 SSE			X		
3	Harol (La Rue)	1,6 WNW			X		
6	Sanchev	0,4 W du Fort			X		
8	Épinal (Saut-le-Cerf)	1,6 NNE			X		
11	Lerrain	1,4 ESE			X		
	<u>Feuille de Bruyères*</u>						
1	Jeuxey	0,650 NNE	407,6	157,1	X	96/16-115/14-180/10	
2	Deyvillers (Les Adelphe)	1,0 SE	408,05	155,65	X		
11	Grandvillers	1,2 SW	419,7	159,9	X	40/12	
	<u>Feuille de Monthureux-sur-Saône</u>						
1	Sérécourt	2,1 ESE	863,4	345,1	X		98/10-264/16
2	Monthureux-sur-Saône	1,0 WNW	870,2	343,5	X		
6	Claudon (Le Hubert)	2,9 NW	873,1	344,3	X		
10	Enfonvelle (Moulin de l'Achat)	1,0 N	863,4	332,4	X	70/12	
11	Châtillon-sur-Saône	1,0 SW	864,4	333,1	X	160/6-172/6 -185/6	
13	Châtillon-sur-Saône	1,0 SSW	864,7	332,9	X	100/15	
15	Jonvelle	3,0 NW	867,5	332,8	X		
16	Selles	0,8 E	880,8	335,9	X		
	<u>Feuille de Plombières-les-Bains</u>						
2	Pont du Bois	0,5 NW	882,4	337,0	X		90/10
5	Bains-les-Bains	0,8 SW	892,2	339,9	X	132/11	
7	Bains-les-Bains	2,3 SE	895,05	329,3	X		
14	Aillevillers-et-Lyaumont (Lyaumont)	5,0 NW	894,2	333,9	X		
15	Fleurey-les-Saint-Loup	0,9 N	875,75	333,3	X		
20	Fougerolles (Le Château)	2,2 NE	905,6	329,9	X		
	<u>Feuille de Neuf-Brisach</u>						
2	Osenbach	0,5 NE	964,2	343,4	X	320/12	0/12-225/10-330/15
	<u>Feuille de Luxeuil-les-Bains</u>						
1	Conflans-le-Buisson	2,2 SE	891,3	318,5	X		120/6-150/12
5	Luxeuil (Ferme Larrière)	1,3 NNE	903,3	322,0	X		
6	Luxeuil (La Miredondaine)	2,5 N	902,6	323,4	X	150/13	
7	Saint Valber	0,25 NW	903,45	325,4	X		
8	Fougerolles (Blanzey-haut)	2,6 SW	906,0	327,5	X	160/10	
	<u>Feuille de Giromagny</u>						
2	Lantenot (Les Fraillies)	1,15 NNE de la Mairie	912,1	314,8	X		70/10
3	Mélieux (La Goulotte)	3,3 ENE	915,15	313,75	X	60/8	
4	Saint-Germain (Les Carrières)	1,5 NE	915,1	312,2	X		
	<u>Feuille de Lure</u>						
1	Clairegoutte	0,7 NE	921,9	305,4	X	30/29	95/5
2	Frédéric-Fontaine	0,8 SW	922,0	303,3	X	95/18	
3	Magny-Jobert	0,3 E de la Mairie	920,1	303,0	X		
4	Lomont (Lomontot)	2,1 WNW	919,1	300,25	X		
9	Sénargent	0,8 SE	915,7	293,0	X	105/5	
10 a	Sénargent	1,4 ENE	916,5	293,8	X	180/16	
10 b	Sénargent	1,3 E	916,4	293,6	X	90/20	
11	Granges-la-Ville	0,5 W	918,1	293,7	X	98/13-120/15-145/16	
	<u>Feuille de Belfort</u>						
2	Offemont	0,6 NE	341,5	306,4	X		

TROISIÈME PARTIE

ÉTUDE PALÉOGÉOGRAPHIQUE

CHAPITRE PREMIER

LE CLIMAT AU PERMIEN ET AU TRIAS INFÉRIEUR

La reconstitution du climat qui régna sur une région à une époque aussi reculée que celle du Permien et du Trias inférieur n'est pas facile. Pour y parvenir, nous avons fait appel à des domaines variés de la Géologie et même de la Physique du Globe; nous n'y aurions évidemment pas pénétré sans l'aide de concours extérieurs.

Pour le Paléomagnétisme, nous avons trouvé un guide éprouvé en la personne de M. le Professeur A. ROCHE; je lui renouvelle ici mes remerciements.

Les échantillons d'argile ont été analysés par les soins de M. le Professeur G. MILLOT et M. J. LUCAS; de plus, le contenu de ce chapitre est dû à une collaboration très amicale dont je les remercie vivement.

I. — ETUDE DU PALEOMAGNETISME DES GRES DU PERMIEN ET DU TRIAS INFERIEUR

A. — LA METHODE

Depuis longtemps on sait que les laves acquièrent une aimantation qui a la direction du champ magnétique terrestre du lieu à l'époque de leur refroidissement (B. BRUNHES et P. DAVID, 1905; R. CHEVALLIER, 1925). Cette aimantation est souvent instable (E. THELLIER, 1936, 1937, 1938), mais dans certains cas elle est stable. L. NEEL (1949) a prévu théoriquement et T. NAGATA a vérifié expérimentalement (1953) que le sens de l'aimantation pouvait être contraire au sens du champ magnétique agissant, mais les observations de A. ROCHE (1950, 1951, 1957, 1958, 1960) et de J. HOSPERS (1955) ont montré que d'une manière très générale le sens de l'aimantation des roches volcaniques était en accord avec celui du champ magnétique; il en est de même pour un certain nombre de roches sédimentaires.

En admettant le postulat suivant : *de tout temps le champ magnétique terrestre est resté assimilable au champ magnétique créé par un dipôle géocentrique dont l'axe se confond avec l'axe de rotation de la terre* (J. HOSPERS, 1955; S. K. RUNCORN, 1955), *on peut localiser la position du pôle par rapport au lieu du prélèvement et à l'époque correspondant au refroidissement de la lave ou au dépôt du sédiment.*

Des travaux extrêmement nombreux ont été exécutés en différents points du globe : à partir des directions d'aimantation trouvées sur les matériaux, on a calculé les positions du pôle pour les différents étages géologiques.

Une bonne compilation de l'ensemble des résultats a été donnée récemment (1960) par A. COX et R.R. DOELL et par A.E.M. NAIRN.

B. — LES FAITS

Cinq échantillons ont été prélevés par nos soins en trois endroits différents :

- à Giromagny (12 km N de Belfort) : Grès du Saxonien;
- à Marmoutier (6 km S de Saverne) : Grès à Voltzia;
- à Jonvelle (11 km SSW de Monthureux-sur-Saône) : Grès à Voltzia.

Par suite des circonstances, je fus amené à partager chaque échantillon en deux : une moitié fut envoyée à M. A. NAIRN, Professeur à l'Université de Durham (Angleterre) et l'autre partie à M. A. ROCHE, Professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg. Ils ont bien voulu, l'un et l'autre, se charger de l'exécution des mesures : je les en remercie bien vivement ainsi que M. le Professeur E. THELLIER, Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris qui a mis à notre disposition les appareils de son Laboratoire à l'Observatoire du Parc Saint-Maur.

1° Echantillon de grès saxonien de Giromagny.

a) Mesures de M. A. Roche.

La direction de l'aimantation correspond à des valeurs de l'inclinaison -26° et de la déclinaison $33^\circ \text{ E} + 180^\circ$, c'est-à-dire 213° .

b) Mesures de M. A.E.M. Nairn.

Les valeurs de l'inclinaison oscillent entre -16° et -36° et celles de la déclinaison entre 193° et 194° ; l'intensité d'aimantation moyenne est de $14,3 \cdot 10^{-8}$ emu/cc.

Une comparaison de ces mesures fait ressortir un accord parfait en ce qui concerne la valeur de l'inclinaison; pour la déclinaison les chiffres ne sont pas identiques mais sont encore très voisins.

La direction ainsi définie s'approche de celles mesurées par A. ROCHE (1957) et par M. G. RUTTEN *et al* (1957) pour certaines rhyolites permienes de l'Estérel; l'inclinaison est plus forte que celle trouvée par A.E.M. NAIRN (1957, 1960) et par J. LACAZE (1960) pour les rhyolithes des Vosges (région du Nideck).

2° Echantillons de Grès à Voltzia de Marmoutier (mesures A. Roche).

Les composants de l'aimantation, trop faibles, ont pu être définies en signe mais non en intensité : la déclinaison est orientale inversée, comprise entre 180° et 270° ; l'inclinaison est négative, vecteur pointant au-dessus de l'horizon; ces valeurs sont en accord avec l'idée généralement admise de l'existence d'un champ magnétique inversé au moment de la mise en place des sédiments à cette époque.

3° Echantillons de Grès à Voltzia de Jonvelle (mesures A. Roche).

Les composantes de l'aimantation sont ici aussi trop faibles pour pouvoir être définies en intensité : la déclinaison est inversée et voisine de 180° , mais l'inclinaison est positive; il y aurait donc là une certaine incohérence, mais J. A. CLEGG, E. R. DEUTSCH, C. W. F. EVERITT et P. H. S. STUBBS (1957) ont signalé des valeurs assez voisines obtenues avec des échantillons de Grès vosgien (moyenne citée : $I = +10^\circ$; $D = 218^\circ$). Si donc les échantillons de J. A. CLEGG *et al.*, ainsi que les nôtres ont une valeur stable, on pourrait alors conclure à des divagations importantes de la direction du champ terrestre au Trias inférieur; mais ce n'est pas prouvé car le test de stabilité n'a pas pu être pratiqué sur les échantillons de Marmoutier et de Jonvelle, étant donné les trop faibles valeurs de l'aimantation. De son côté, M. A. NAIRN a effectué des mesures sur plusieurs disques coupés dans les mêmes échantillons et a constaté une très grande dispersion entre les directions mesurées, ce qui doit inciter à une très grande prudence.

Il semble cependant que les directions mesurées sur nos échantillons sont voisines de celles que les divers auteurs ont citées pour les mêmes formations des mêmes régions ou de régions voisines.

C. — INTERPRETATION DES FAITS

Des divers travaux effectués en Europe sur le paléomagnétisme, A.E.M. NAIRN (1960) a tiré des conclusions intéressantes au point de vue paléogéographique :

1° Emplacement du pôle Nord.

a) *Au Permien*, le pôle Nord aurait été situé dans le Pacifique nord, un peu plus proche des côtes japonaises que de celles d'Amérique, à l'intérieur d'une zone comprise entre le 160° degré de longitude E et le 160° degré de longitude W d'une part et entre le 35° degré et le 50° degré (et même le 55° degré) de latitude N d'autre part.

b) *Au Trias*, le pôle N se serait rapproché des côtes du Japon, il aurait été situé à l'intérieur d'une zone comprise entre le 140° degré et le 170° degré de longitude E d'une part et entre le 45° degré et le 60° degré de latitude N d'autre part.

On voit par les chiffres précédents que si la situation générale du pôle est assez bien esquissée, une grande marge d'imprécision subsiste encore.

2° **Latitude des Vosges (Lorraine-Alsace) au Permien et au Trias.**

Connaissant l'emplacement du pôle aux diverses époques géologiques, il est possible de replacer la France, et par conséquent les Vosges, à la latitude où elle se trouvait à ces époques.

a) **Au Permien**, elles pouvaient être situées à la latitude de l'équateur ou entre celui-ci et le 15° degré de latitude N.

b) **Au Trias**, elles pouvaient être situées dans une zone comprise entre le 5° et le 20° degré de latitude N.

3° **Signification climatique de l'étude du paléomagnétisme.**

Les indications précédentes ne permettent pas de déductions précises sur la nature des climats qui ont présidé à la formation des grès permo-triasiques; de nos jours en effet, les climats varient le long de l'équateur ou des tropiques et, dans le temps, des oscillations climatiques ont lieu; il en fut sans doute de même au Permien et au Trias.

Cependant cette étude permet d'éliminer l'éventualité d'un climat froid ou même tempéré à l'époque permotriasique.

Il est donc nécessaire de rechercher par d'autres voies des indications sur les climats du Permo-Trias; les études pétrographiques de nos grès, jointes à celles des principaux sols actuels, nous l'ont permis (J. PERRIAUX, G. MILLOT, J. LUCAS, 1961); Nous présentons maintenant le résumé de cette argumentation

II. — ETUDE DES MINERAUX ARGILEUX DES GRES DU PERMIEN ET DU TRIAS INFÉRIEUR

Une vingtaine d'échantillons d'argile prélevés tout au long de la série permienne et triasique inférieure a été analysée.

Les méthodes d'étude sont classiques et décrites dans les ouvrages spécialisés : analyse aux rayons X sur des plaquettes orientées, analyse thermique différentielle, etc. Voici les résultats :

A. — LES FAITS

1° **Argile du Permien inférieur** de Saint-Dié.

Présence exclusive d'une illite assez ouverte; on note vers 14 Angström un édifice interstratifié qui se rattacherait au groupe de la montmorillonite.

2° **Grès argileux du Permien supérieur** de Bruyères.

Présence exclusive d'illite; du quartz microcristallin apparaît en quantité importante, ce qui est l'indice d'une action pédologique.

3° **Fraction argileuse du Grès d'Annweiler (Buntsandstein inférieur)** de Niedersteinbach (NW de Lembach).

Présence exclusive d'illite.

4° **Lentille d'argile dans le Grès vosgien** de Bruyères.

Présence exclusive d'illite très fraîche qui ne varie pas à la suite des opérations de contrôle telles que chauffage ou passage au glycol : cette illite est sans doute un héritage provenant de l'altération des feldspaths et de l'exfoliation des micas, et celle-ci s'est produite sur le lieu d'origine des sédiments plutôt que sur le lieu du dépôt.

5° **Argile de la Zone-Limite-Violette** (Saint-Avoid; Claudon près de Darney, Fontenoy-le-Château près de Bains-les-Bains, Sénargent au S de Lure).

Plusieurs échantillons ont été analysés dans cette zone; tous ont fourni des résultats semblables que nous résumerons de la façon suivante :

a) Présence essentielle d'une *illite* dont l'intense altération ressemble à celle qui est due aux agents météoriques lorsqu'elle se produit au cours de la formation d'un sol; en effet :

- cette illite est interstratifiée avec une montmorillonite;
- elle est très ouverte;
- elle se gonfle intensément au cours du traitement au glycol;
- elle s'écrase au cours du chauffage.

b) Présence d'un peu de *chlorite*; cette association illite chlorite n'a rien de surprenant car elle est classique dans les niveaux détritiques du Trias.

c) Présence d'une importante quantité de *quartz microcristallin* (raies à 4,25 Å et 3,33 Å); cette présence dans un sédiment dénote une fragmentation de la silice et ce phénomène a généralement pour origine un processus pédologique.

En conclusion, l'analyse de la fraction argileuse de la Zone-Limite-Violette nous autorise à émettre l'hypothèse d'un ancien sol qui s'est développé à la surface du Conglomérat principal et s'est ensuite fossilisé.

6° **Argile de la Zone-Violette-Supérieure** (Adamswiller au NW de la Petite-Pierre; Vallerysthal-Trois-Fontaines au SE de Sarrebourg).

On trouve ici les mêmes caractères que précédemment, mais légèrement atténués et une conclusion semblable s'impose : la **Zone-Violette-Supérieure pourrait être un ancien sol qui s'est développé au sommet des Couches intermédiaires inférieures**; mais l'atténuation des caractères laisse à penser que les processus pédologiques ont duré moins longtemps : de fait, la Z.V.S. est toujours moins épaisse que la Zone-Limite-Violette.

7° **Lentille d'argile dans les Couches intermédiaires** de la région située entre Epinal et Darney.

- présence d'illite;
- présence de traces infimes de chlorite.

8° **Zones violettes des Couches intermédiaires supérieures** (Renauvoid, entre Epinal et Darney).

En plus de l'illite, on décèle la présence de quartz microcristallin en quantité abondante; ceci rejoint les conclusions déjà formulées p. 77 : ces zones violettes peuvent être considérées comme des arrêts de la sédimentation s'accompagnant d'une action pédologique fugace.

9° **Argile du Grès à Voltzia supérieur (= Grès argileux).**

- Présence d'illite normale;
- Présence d'un peu de chlorite;
- Présence de très peu de kaolinite, ce qui dénote une altération modifiée des silicates avec début de kaolinisation, indice d'une température un peu plus élevée.

10° **Argile du Grès coquillier.**

Comme précédemment, l'illite prédomine nettement tandis que chlorite et kaolinite manifestent discrètement leur présence.

B. — CONCLUSIONS

— La présence exclusive d'illite est fréquente; même quand elle est accompagnée de chlorite et — plus rarement — de kaolinite, elle prédomine largement.

— La présence d'illite confirme l'origine détritique des matériaux; elle est le produit de l'altération chimique des roches éruptives et cristallophylliennes et en particulier des plagioclases; mais elle témoigne d'un chimisme modéré au cours duquel les silicates les plus vulnérables, c'est-à-dire plagioclases, cordièrite, micas..., sont altérés en produits de type micacé qui mènent à l'illite; ces altérations se firent sur le lieu d'origine des sédiments. Dans quelques niveaux (Zones violettes), l'illite présente tous les caractères d'une altération d'origine météorique produite à la surface d'un sol.

— La chlorite n'est pas rare dans le Trias et proviendrait de roches schisteuses, éruptives ou métamorphiques.

— Il est intéressant de constater que la montmorillonite, indicateur des altérations réalisées avec un mauvais drainage, se manifeste avec infiniment de discrétion et au seul Permien. Ce que nous savons de la sédimentation gréseuse nous montre bien que la circulation des eaux était intense.

— De son côté, la kaolinite, indicateur de climat chaud et humide, n'apparaît que discrètement vers la fin de la série gréseuse.

III. — NATURE ET HERITAGE DU PIGMENT ROUGE

La coloration rouge des grès du Permien et du Buntsandstein n'est pas due à une coloration intrinsèque des grains de quartz et de feldspath mais au contraire à un enduit ferrugineux superficiel qui enrobe ces grains : un lavage avec un acide fait en effet disparaître cette pellicule et, après l'opération, les grains apparaissent blanc-laiteux ou incolores.

A. — NATURE DES PIGMENTS

Les géologues persistent généralement à attribuer à l'hématite ou l'oligiste (Fe_2O_3) ou à la turgite ($\text{Fe}_2\text{O}_3, 1/2 \text{H}_2\text{O}$) la responsabilité de la pigmentation rouge des grès du Permien et du Trias. Or, les seuls minéraux stables dans l'hydrosphère sont l'hématite (Fe_2O_3), la goethite ($\alpha \text{FeO}_2\text{H}$) et la très rare lépidocrocite ($\gamma \text{FeO}_2\text{H}$); tous les minéraux décrits sous des noms divers, y compris la turgite sont des agrégats cryptocristallins retenant une certaine quantité d'eau d'adsorption (S. GOLDSZTAUB, 1934); les couleurs varient en fonction de cet état de division et d'hydratation. Dans les grès permien et triasiques, les analyses aux rayons X ont montré que les pigments sont l'hématite et la goethite.

B. — LE PIGMENT EST-IL HERITE OU INTRAFORMATIONNEL ?

1° La coloration n'est pas un phénomène superficiel, postérieur à la diagenèse, et qui serait dû à une oxydation des grès dans la seule zone des affleurements : les teintes des divers niveaux gréseux ne varient en effet ni en valeur, ni en intensité quand on passe de l'affleurement au sondage; l'inverse se produit parfois, car des décolorations superficielles sont visibles en quelques carrières.

2° La coloration n'est pas non plus syndiagenétique : elle est beaucoup trop uniforme pour avoir pu se former au moment de la diagenèse du sédiment : l'enduit ferrugineux qui enrobe les grains est en effet uniforme et la coloration est la même sur de vastes surfaces et sur de grandes hauteurs. Si cette coloration s'était formée au moment de la diagenèse, elle présenterait inévitablement des variations locales importantes, ce qui n'est pas.

3° Deux possibilités doivent être discutées : le pigment est-il syngénétique, c'est-à-dire se forme-t-il pendant le dépôt et sur le lieu même de ce dépôt ou au contraire est-il hérité, provenant du lessivage ou de l'érosion d'un sol rouge plus ou moins lointain.

Pour le Permien comme pour le Buntsandstein, la réponse est à chercher dans les bancs de grès bariolés, rouges et blancs.

— Dans un premier cas (planche III, fig. E), lits blancs et lits rouges coexistent, bien séparés les uns des autres par des lignes de discontinuité, et les granulométries de ces bancs sont différentes les unes des autres; dans ce cas, il est probable qu'il se produisit des arrivées successives de sable rouge et de sable blanc qui se sont superposés, et que les colorations sont restées ce qu'elles étaient au sommet du dépôt. Ce cas est rare dans le Permien, plus fréquent dans le Buntsandstein.

— Dans un deuxième cas (planche III, fig. D), le contact entre grès blanc et grès rouge est diffus, en dents de scie et en volutes; sans doute y eut-il là régression des oxydes de fer par lessivage; ce cas s'observe très fréquemment dans le Permien et souvent aussi dans le Buntsandstein.

Dans un cas comme dans l'autre, il est vraisemblable que le sable fut apporté jusqu'au lieu de sédimentation en même temps que le pigment qui l'a coloré; parfois le pigment manquait et le sable s'est déposé à l'état incolore; parfois aussi, après le dépôt d'un sable rouge, se produisit une décoloration progressive, partielle et irrégulière.

Il existe un autre argument en faveur de *l'héritage de la couleur rouge* : celle-ci ne se forme que dans un sol; or, nous ne pensons pas qu'un sol ait le temps de s'installer sur une région où les épandages doivent être abondants et fréquents.

En conclusion, les pigments rouges se sont formés au lieu d'origine des sédiments qu'ils ont teints : au Permien sur les montagnes hercyniennes entourant les bassins locaux de sédimentation et, au Buntsandstein, sur le « Continent Gaulois » situé au SW et à l'W des épandages dont nous étudions aujourd'hui les restes; sédiments et pigments, transportés ensemble, se sont intimement mêlés, puis déposés sur des régions de plus en plus plates et marécageuses au fur et à mesure que le temps s'écoulait; dans ce milieu réducteur, les sables incolores restaient tels quels et des phénomènes de décoloration pouvaient atteindre localement les sables colorés en rouge.

IV. — INTERPRETATIONS POSSIBLES DE LA COULEUR ROUGE

A la suite de J. WALTHER (1900), la plupart des géologues ont considéré que les divers grès rouges répandus à la surface du globe s'étaient *formés dans des déserts*. Unanimentement acceptée à l'époque, cette idée commença à être battue en brèche par G. E. DORSEY (1926) et par P. RAYMOND (1927) qui montrèrent que les sols rouges actuels ne se forment pas dans les déserts mais au contraire dans la zone intertropicale à climat chaud et humide et à épaisse couverture végétale. Puis J. BOURCART (1934) montra que la couleur rouge est en opposition formelle avec un climat désertique et B. GÈZE (1947) développa la même opinion. Plus près de nous, G. L. ROBB (1949) montra que l'hématite qui colore les grès et schistes rouges du Permien de Pensylvanie est un produit de néoformation provenant de l'altération de la biotite en muscovite-illite, et que cette transformation s'est effectuée — dans le cas observé — après le dépôt des couches.

En 1951, W. C. KRUMBEIN et S. L. SLOSS dissocièrent les lits rouges de la notion d'aridité; en 1952, K. C. DUNHAM signala que, sauf dans le cas où ils sont alimentés par des couches rouges préexistantes, les déserts actuels ne sont pas rouges : les oxydes rouges exigeraient pour leur formation des conditions de chaleur humide ou une alternance rapide de chaleur sèche et d'humidité, et ils prendraient naissance dans les sols des pays tropicaux ou tropicaux humides.

En 1952 toujours, J. BOURCART et J. RICOUR montrèrent qu'aucun des divers niveaux du Trias ne s'est formé dans un désert; bien au contraire les dépôts de ces niveaux seraient marins. En 1956, H. ERHART affirma que « seule une longue période de pédogenèse forestière a pu être capable de désintégrer les roches sur une très grande profondeur, d'éliminer toutes les substances solubles, délaborer les hydroxydes de fer qui teintent ces roches, en partant de minéraux ferrugineux (silicates ou autres) que pouvait contenir la roche-mère ». En 1960 enfin, J. RICOUR (thèse) développa le même thème en invoquant les climats tropicaux humides et la pédogenèse latéritique comme responsable de la couleur rouge des sédiments triasiques.

La cause est donc entendue : la couleur rouge ne se développe pas dans les déserts. Mais n'est-on pas allé trop loin en affirmant qu'elle ne peut prendre naissance que sous un climat tropical humide et même dans un sol ferrallitique ? Il est possible aujourd'hui de serrer cette question et de répondre par la négative.

V. — INDICATIONS DE LA PETROGRAPHIE DES GRES ROUGES PERMO-TRIASIQUES

En effet, nous avons pu relever une série de contradictions complètes entre la pétrographie des grès permo-triasiques et l'existence d'un climat tropical chaud et humide de type ferrallitique. Ce climat n'admet pas les galets de roches cristallines ni la présence de feldspaths qui sont totalement altérés; il présente des quartz éclatés, cariés et ferruginisés dans les caries; enfin l'argile d'altération est la kaolinite.

Or, les grès permiens comportent des galets conservés de granite et de gneiss et les conglomérats du

Buntsandstein également dans la région de Monthureux-surSaône et de Darney. Les feldspaths sont tellement abondants que les grès permotriassiques méritent le nom d'arkoses ou de grès arkosiques selon les points (tableau XLV). Ces feldspaths sont presque exclusivement alcalins, car les plagioclases sont rares dans le Permien et rarissimes dans le Buntsandstein. Ces feldspaths sont frais dans le Grès permien et légèrement altérés dans les grès du Buntsandstein. Les grains de quartz ne sont ni éclatés ni cariés (0,1 à 0,5 % seulement le sont) et l'enduit ferrugineux est extérieur. Enfin l'argile analysée n'est pas la kaolinite, présente seulement à l'état de traces vers le sommet de la série gréseuse.

Les contradictions sont tellement nettes, importantes et définitives qu'il faut écarter totalement les notions de climats tropicaux humides, ou de latéritisation, de forêt épaisse, etc.

TABLEAU XLV

Teneur moyenne en feldspaths des grès du Permien et du Buntsandstein des Vosges Gréseuses

Formations	Pourcentage du nombre des grains de feldspaths par rapport au nombre total des grains
Grès permien	35 à 60 %
Grès d'Annweiler	16 à 43 %
Grès Vosgien	5 à 38 % (moyenne 15 %)
Conglomérat principal	10 à 15 %
Couches intermédiaires inférieures	20 %
Couches intermédiaires supérieures	25 %
Grès à Voltzia	17 à 35 % (moyenne 25 %)

VI. — INDICATIONS DE L'ETUDE MINERALOGIQUE DES SOLS

Les sols des pays tempérés sont pâles ou bruns; l'hydrolyse des silicates est faible et les feldspaths sont conservés.

Les sols des pays tropicaux humides sont rouges mais l'hydrolyse des silicates est totale et la kaolinite règne.

Entre ces deux extrêmes se trouve ce que P. DUCHAUFOR (1960) classe comme « *Sols ferrugineux de climat chaud* ». Dans cette catégorie, deux exemples sont fréquemment cités :

— *les sols rouges méditerranéens* qui sont fossiles et correspondent aux grandes périodes pluviales du Pliocène et du Quaternaire;

— *les sols ferrugineux tropicaux de la zone sahélienne ou soudanaise actuelle*; ces sols fournissent les indications les meilleures puisqu'ils sont actuels;

— la pluviosité est inférieure au mètre;

— la température est de 20° environ;

— les saisons sont alternées avec une saison sèche marquée, de plus de huit mois.

Les caractères et les processus de formation de ces *Sols ferrugineux de climat chaud* sont les suivants :

— *en saison humide*, pluviosité et température sont suffisantes pour amorcer les hydrolyses; les ferromagnésiens en sont les premières victimes et libèrent le fer qui forme avec la silice des complexes ferri- et ferro-siliciques dispersés et migrants; mais le chimisme n'est pas très important, les feldspaths alcalins sont préservés et subsistent avec le quartz;

— *la saison sèche* détruit les matières humiques qui ne peuvent lessiver le fer, lequel se fixe à l'état de goethite (déshydratation partielle) ou d'oligiste (déshydratation totale);

— cimentés par de l'oxyde de fer et de la silice, des agrégats, appelés « *pseudosables* » caractérisent ces zones (cf. p. 156);

— enfin selon la pluviosité, les argiles présentent toutes les étapes entre l'illite qui est l'altération banale des plagioclases, la kaolinite néoformée quand le lessivage est plus intense et la montmorillonite quand le drainage est mauvais. Dans de nombreux cas, les sols ferrugineux tropicaux présentent le mélange illite-kaolinite, mais dans la zone semi-aride où la pluviosité est de 750 mm, l'illite est le minéral dominant.

Nous nous rapprochons ici de tous les caractères pétrographiques des grès du Permo-Trias et nous touchons au but de la manière suivante :

VII. — RECONSTITUTION DU CLIMAT DES TEMPS PERMIEN ET TRIASIQUE INFÉRIEUR

Les grès du Permien et du Trias inférieur présentent :

- des galets cristallins;
- une abondance de feldspaths alcalins;
- la présence presque exclusive d'illite comme minéral argileux;
- une corrosion pratiquement nulle des grains de quartz;
- une coloration rouge.

Ces caractères sont ceux qu'acquièrent les sols au nord de la Zone tropicale africaine des géographes. C'est aussi ceux qui ont régné pendant toutes les grandes périodes pluviales du Pontien, du Villafranchien et des pluviaux du Quaternaire au Maroc (G. CHOUBERT, 1950). De vastes épandages graveleux, sableux ou limoneux caractérisent ces périodes pour lesquelles G. CHOUBERT parle de « *Climat rubéfiant d'accumulation* ». Le même phénomène s'est produit en France sur les côtes de l'Atlantique (Vendée, Aquitaine) au Pliocène.

Si ces sols rouges et leur produit de remaniement ont été répandus aux pluviaux du Quaternaire en Méditerranée et sont actuellement très fréquents en Afrique Noire dans la zone soudano-sahélienne, disons que leurs caractéristiques essentielles sont les suivantes :

- chute de pluie inférieure au mètre;
- saison sèche marquée et prolongée;
- température de 20° environ.

Une faible diminution de la pluviosité peut faire pencher ce climat vers un type semi-aride capable d'engendrer des sols semblables à ceux que nous avons décrits sous le nom de « Zones violettes » et de telles oscillations climatiques ont pu se produire à plusieurs reprises.

Il n'est nul besoin de comparer le paysage permien et triasique inférieur aux paysages sahélien ou soudanais actuels, ou à ceux que nous pouvons reconstituer pour la Méditerranée aux temps des grands pluviaux : les géographies peuvent être différentes mais les altérations semblables et l'on sait qu'aujourd'hui des sols rouges méditerranéens se forment encore aux flancs de montagnes d'Oranie, arrosés et exposés au midi, ce qui provoque un microclimat contrasté (G. AUBERT et A. MONJAUZE, 1946). Dans une marge assez grande de latitude, une pluviométrie inférieure au mètre, des saisons alternées et la chaleur mènent à ce faciès qui semble caractéristique de nombreuses séries de démolition du monde.

Ces indications sont tellement concourantes avec celles que nous avons obtenues par la sédimentologie (chasses d'eau, régime d'oueds, lacs temporaires...), que, dans l'état actuel de nos connaissances, elles nous paraissent satisfaisantes.

Ajoutons qu'elles ne forment aucune contradiction avec les indications paléomagnétiques; tout au contraire, si ce schéma se vérifiait il montrerait simplement que les latitudes de 0 à 15° du Permien et de 5° à 20° du Trias inférieur avaient un climat analogue à celui qui règne sous ces latitudes de nos jours.

CHAPITRE II

SEUIL VOSGIEN ET BASSIN RHENAN AU TRIAS

A. — HISTORIQUE DE LA QUESTION

L'idée d'une surrection triasique des Vosges et de la Forêt Noire, accompagnée d'un effondrement médian ayant donné naissance à la dépression rhénane n'est pas neuve. Dès 1828, L. ELIE DE BEAUMONT l'avait exprimée et plaçait cette surrection entre le dépôt du Grès vosgien et celui du Grès bigarré; celui-ci serait venu recouvrir en discordance les pentes escarpées formées par le Grès vosgien lui-même mais il n'aurait pas recouvert le sommet des Vosges. Cette opinion fut ensuite défendue par SANDBERGER (1864) puis par PLATZ (1872) qui précise même l'époque de ces mouvements verticaux : entre le dépôt de nos Couches intermédiaires et celui du Grès à Voltzia.

Pour d'autres auteurs, ce n'est qu'au Tertiaire que la plaine rhénane acquit sa figure actuelle : LASPEYRES (1867-1868, p. 397) fournit à ce sujet des remarques judicieuses et une fort belle coupe synthétique transversale de la Lorraine à la Souabe. En 1875, R. LEPSIUS signale qu'il n'a pu se produire de surrection après le dépôt du Grès vosgien car, partout, le Grès à Voltzia est concordant sur le Grès vosgien. En 1877, E. BENECKE reprend le même thème en le développant : si à cette époque les Vosges s'étaient soulevées pendant que la vallée du Rhin restait sur place, ce n'est pas le Grès à Voltzia caractérisé par la finesse de son grain qui se serait déposé au pied du Grès vosgien mais de puissants conglomérats et pour lui, la mer du Trias a entièrement recouvert les Vosges et la Forêt Noire. En 1887, STEINMANN conteste le caractère littoral des dépôts liasiques d'Alsace qui sont semblables, dit-il, à ceux de Souabe; ce seul argument lui suffit pour affirmer que la même mer s'est étendue depuis la Lorraine jusqu'à la Bohême par-dessus les Vosges et la Forêt Noire qui demeurèrent submergées jusqu'à la fin du Jurassique. Quant à L. VAN WERVEKE (1897) il entre dans la discussion pour établir de façon définitive la date de l'effondrement de la vallée du Rhin : à l'Oligocène.

La cause semble donc être entendue : les Vosges et la Forêt Noire auraient été submergées jusqu'à la fin du Jurassique et ce n'est qu'à l'Oligocène que se serait dessinée la vallée du Rhin.

Cependant, en 1887, mais surtout en 1897 dans sa « Note sur l'histoire géologique des Vosges », A. DE LAPPARENT trace avec infiniment de souplesse les épisodes de cette histoire des Vosges : baignée par une mer werfénienne, une île vosgienne aurait fourni les galets du Conglomérat principal ainsi que les végétaux du Grès à Voltzia de Lorraine. Si l'origine des matériaux du Buntsandstein est tout autre (nous en discutons p. 197-198), il demeure cependant que l'argumentation de A. DE LAPPARENT nous a séduit par plus d'un point : nos travaux nous ont en effet poussé vers la conclusion suivante :

— A l'époque du Buntsandstein moyen et des Couches intermédiaires, les actuelles Vosges cristallines furent, tardivement sans doute, mais entièrement recouvertes par des sédiments gréseux; les dépôts étaient plus minces vers le centre des Vosges, plus épais à la périphérie, c'est-à-dire dans les bassins lorrain et alsacien, à fond subsident et à sédimentation active.

— A l'époque du Grès à Voltzia : recouvertes par leur très mince manteau gréseux, ces mêmes Vosges cristallines constituèrent une terre basse, véritable *Seuil Vosgien* sur lequel aucun sédiment

ne se déposait plus, tandis que tout autour le mouvement vertical de descente des bassins de sédimentation se poursuivait notamment à l'emplacement de l'actuelle vallée du Rhin. Divers faits nous poussent vers ces conclusions.

B. — LES VARIATIONS D'ÉPAISSEUR DU BUNTSANDSTEIN

Nous avons vu que le Buntsandstein s'amincissait à l'approche d'un seuil, même de faible importance (fig. 6, p. 47); il en fut de même à l'approche du Seuil Vosgien, aussi bien au cours du Buntsandstein moyen qu'à l'époque du Grès à Voltzia.

1° Au Buntsandstein moyen.

Du côté alsacien, nous pouvons citer les mesures d'épaisseur que N. THEOBALD effectua au cours de travaux de levé de carte dans le Champ de fractures du Linge, à l'Ouest de Colmar; mesuré entre le Permien et le Conglomérat principal, le Grès vosgien présente d'W en E les variations suivantes d'épaisseur (N. THEOBALD, 1952f, p. 284) :

50 m au col du Wettstein;
70 m au Linge;
90 m au Kuhberg;
100 m au Hohnack et au Gras.

Du côté lorrain : les variations d'épaisseur sont inverses de celles qu'on observe en Alsace : d'W en E nous avons en effet sur un même parallèle :

317 m au sondage de Ménil-Flin (entre Lunéville et Baccarat);
200 m sur le seuil de Raon-l'Étape;
230 à 270 m dans la région des bassins de Saint-Dié et de Raon-sur-Plaine.

2° A l'époque du Grès à Voltzia.

a. Dans la première partie (p. 93), nous avons vu que les variations de puissance du Grès à Voltzia sont plus importantes dans la partie supérieure (Grès argileux) que dans la partie inférieure (Grès à Meules); nous avons vu aussi qu'en reliant par des lignes les points de même épaisseur, on obtient une *carte des isopaques* où ressortent des bassins et des seuils de secondaire importance de part et d'autre du très important Seuil Vosgien (carte planche II).

b. Sur la planche I, quelques coupes figuratives du Grès à Voltzia ont été représentées et distribuées suivant leur emplacement géographique. Nous attirons principalement l'attention sur deux séries de coupes alignées d'W en E et intéressant la Lorraine et l'Alsace :

Première série : de Sarrebourg à Wasselonne :

En Lorraine, elle est illustrée par les carrières de :

— Vallerysthal (coupe détaillée, p. 104);
Épaisseur du Grès argileux $\frac{9,10}{13}$ m;
Épaisseur du Grès à meules $\frac{GA}{6}$ m;
— Arzwiller; cf. p. 103; $\frac{GM}{12}$ m;
— Saint-Louis; cf. p. 103; $\frac{GA}{3}$ m;
 $\frac{GM}{5}$ m;

En Alsace par les carrières de :

— Reinhardsmunster; cf. p. 105; GA = 2,50 m;
— Marmoutier; cf. p. 105; GA = 3,60 m;
— Allenwiller; cf. p. 105; GA = 5,30 m;
— Wasselonne; cf. p. 105; GA = 8 m.

— *Deuxième série* : de Cirey-sur-Vezouse à Molsheim :

En Lorraine, elle est illustrée par les carrières de :

— Cirey-sur-Vezouse; cf. p. 107; GA = 6,40 m;

— Val-et-Châtillon; cf. p. 107; $\frac{GA}{GM} = \frac{5,75}{11}$ m;

— Bréménil; cf. p. 106; GA = 5,50 m.

En Alsace, par les carrières de :

— Niederhaslach; cf. p. 108; LR = 3,55 m;

— Balbronn; cf. 107; LR = 6 m;

— Gresswiller; cf. p. 108; LR = 13 m;

— Sultz-les-Bains; cf. p. 108; LR = 13,20 m.

Une troisième série intéressant uniquement la Lorraine a été aussi figurée; elle comprend les carrières suivantes toujours alignées d'W en E :

— Jeuxey; cf. p. 110; LR = 11 m;

— Deyvillers; cf. p. 110; LR = 6,50 m;

— Rontenay; cf. p. 110; LR = 4,70 m.

3° Conclusion.

La planche I représentant les carrières suivant leur éloignement par rapport aux Vosges cristallines et la carte des isopaques (planche II) font suffisamment ressortir le *Seuil Vosgien* flanqué de ses deux sillons ou bassins de sédimentation lorrain et alsacien; il nous semble inutile d'insister. Un tel sillon lorrain avait déjà été supposé par R. BRINKMANN en 1926; notre travail le confirme en y adjoignant un sillon alsacien de l'autre côté du Seuil Vosgien.

C. — LE SENS DES COURANTS

(cf. planche II, 2° partie et chap. IV, pp. 170 et 171)

1° *Jusqu'à l'époque du Grès à Voltzia*, les courants sont dirigés de l'W vers l'E dans le S des Vosges Gréseuses et en Alsace, et du SW vers le NE dans les Vosges gréseuses moyennes et septentrionales; ils balayent donc partout le *Seuil Vosgien* (p. 170).

2° *A l'époque du Grès à Voltzia*, les courants varient légèrement et contournent ce Seuil Vosgien : de Darney à Belfort, ils sont dirigés du NW vers le SE et dans le bassin alsacien ils vont du S vers le N et même du SSE vers le NNW (p. 171). En Alsace les courants semblent donc se diriger du S vers le N, suivant l'axe du bassin de sédimentation, en léchant le bord oriental du Seuil Vosgien.

D. — EXISTENCE DE DEPOTS POSTERIEURS AU BUNTSANDSTEIN MOYEN SUR LE SOMMET DES VOSGES

Si, jusqu'à l'Oligocène, l'emplacement actuellement occupé par la plaine du Rhin avait formé la clé de voûte de l'ensemble Vosges-Forêt-Noire, on ne s'expliquerait pas que les sédiments anté-oligocènes soient en cette région aussi épais qu'en Lorraine, alors qu'ils devraient y être plus minces du fait de leur position au sommet d'un dôme.

D'autre part, si l'absence sur la voûte des Vosges de tout sédiment postérieur au Buntsandstein moyen était due à une érosion antérieure de l'effondrement rhénan plutôt qu'à une absence originelle des dépôts on s'expliquerait mal comment cette érosion aurait épargné ces mêmes sédiments au sommet du dôme Vosges-Forêt-Noire, à l'endroit précis où elle aurait dû être la plus active. Et si cette absence était due à une érosion postérieure à l'effondrement rhénan, il semble que des butte-témoin de Jurassique ou de Keuper auraient subsisté sur les Vosges cristallines comme sur les Vosges Gréseuses.

Cependant le lambeau de Grès à Voltzia et de Grès coquillier d'Aubure à l'Ouest de Ribeauvillé, paraît constituer une objection sérieuse à notre hypothèse : signalé depuis longtemps par les auteurs alsaciens (L. van WERVEKE, 1888), ce champ de fractures peut en réalité s'être établi à l'emplacement d'un petit bassin secondaire, adjacent au bassin principal alsacien et dans lequel quelques sédiments peu épais de Grès à Voltzia et de Grès coquillier se sont déposés.

E. — MINÉRAUX LOURDS ET PROVINCES MINÉRALOGIQUES

K. SINDOWSKI (1958) a effectué une étude des minéraux lourds des grès du Buntsandstein de l'Allemagne de l'Ouest; cet auteur distingue dans ces formations un certain nombre de provinces minéralogiques caractérisées par une origine différente de leurs matériaux et il conclut qu'au cours du Buntsandstein les massifs cristallins des Vosges et de la Forêt-Noire ont pu fournir une partie des matériaux qui s'épandaient sur les régions situées au N et au NE; ceci revient donc à dire que ces massifs cristallins n'auraient pas été recouverts par les sédiments du Buntsandstein. Cette conclusion est sans doute un peu excessive, mais contient certainement sa part de vérité.

F. — LA QUESTION DU RHÉTIEN

Elle est largement discutée par A. DE LAPPARENT (1897, pp. 11 à 17); cet auteur voit « dans les Vosges mêmes la place de l'ancienne terre... aux dépens de laquelle s'accumulait le grès infraliasique de la Lorraine ». Et à côté de nombreux arguments favorables à cette hypothèse, il produit une carte des terres émergées à l'époque du Rhétien inférieur : ces terres s'étendaient à l'emplacement des Vosges cristallines, des Vosges Gréseuses moyennes et méridionales et de la Forêt Noire; autour de cette île se seraient déposés les sédiments littoraux que nous connaissons bien avec leurs bone-beds caractéristiques.

A cette hypothèse d'une émergence des Vosges au Rhétien, nous apportons quelques arguments : dans les sables et grès rhétiens constitués par d'abondants grains de quartz, on rencontre des galets de quartz, de quartzite, de lydienne et d'une roche blanche indéterminée (C. MARCHAL, 1961). Ces derniers mis à part, nous retrouvons la composition pétrographique des galets du Conglomérat principal; mais leurs dimensions sont nettement moindres (longueur maximale : 2 à 3 cm : longueur du galet moyen : 5 mm).

On peut donc se demander si les matériaux qui constituent les sables et grès du Rhétien lorrain ne proviendraient pas en très grande partie du remaniement du Conglomérat principal. Une rapide étude des directions de courants semble fournir une réponse positive; cette étude a été menée sur quelques affleurements de la région de Nancy et de Bayon (tableau XLVI).

TABLEAU XLVI

Sens des courants dans quelques affleurements de Grès rhétiens
(les mesures effectuées sur le territoire de la feuille de Bayon
l'ont été en compagnie de M. C. MARCHAL).

Localités	Carte	Distance à l'église (en km)	Coordonnées	Stratification oblique	Stratification entrecroisée
Saint-Nicolas de Port	Nancy, quart n° 7	2,4 SSE	893,3/109,0	200°/10° et 225°/20°	180°/20° et 330°/20° 135°/20° : petits écoulements secondaires
Rozelieures (Bois de Rhétimont)	Bayon, quart n° 8	1,650 NE	904,1/92,5	250°/23° et 280°/25°	255°/10° : très nombreux écou- lements parallèles
Moriviller (Le Grand Bois)	" "	1,1 SSE	903,6/93,4	260°/18° et 270°/26°	
Clayeures (Le Grand Fays)	" "	1,1 NE	901,4/94,6	150°/18°	95°/20°

Les courants semblent donc bien se diriger de l'E vers l'W, c'est-à-dire venir des Vosges, sauf pour l'affleurement de Clayeures où se manifestent des directions aberrantes qui sont sans doute le fait de courants secondaires.

Il semble donc bien que les matériaux qui constituent les grès rhétiens proviennent du Conglomérat principal : la nature de ces matériaux et la direction des courants nous incitent à le penser. Il est alors logique d'admettre qu'à cette époque, les Vosges constituaient une terre émergée et que les sédiments les plus récents situés sur cette terre étaient représentés par le Conglomérat principal dont on retrouve les constituants essentiels dans le Grès rhétien.

G. — CONCLUSION A L'ETUDE DU SEUIL VOSGIEN ET DU BASSIN RHENAN

A l'époque du Buntsandstein, nos actuelles Vosges hercyniennes ont formé un seuil progressivement recouvert par les sédiments gréseux; entièrement envahi vers la fin du Buntsandstein moyen, il ne l'a sans doute pas été à l'époque du Grès à Voltzia et du Muschelkalk. De part et d'autre de ce Seuil Vosgien existaient deux bassins, l'un en Lorraine et l'autre en Alsace dont la subsidence permettait l'accumulation d'une grande épaisseur de sédiments.

Il n'est évidemment pas question, comme le faisait L. ELIE DE BEAUMONT, de dater l'effondrement de la plaine rhénane du Trias inférieur; mais dès le Buntsandstein, un bassin de sédimentation situé à cet emplacement constituait une zone de subsidence qui a peut-être préparé le grand effondrement oligocène.

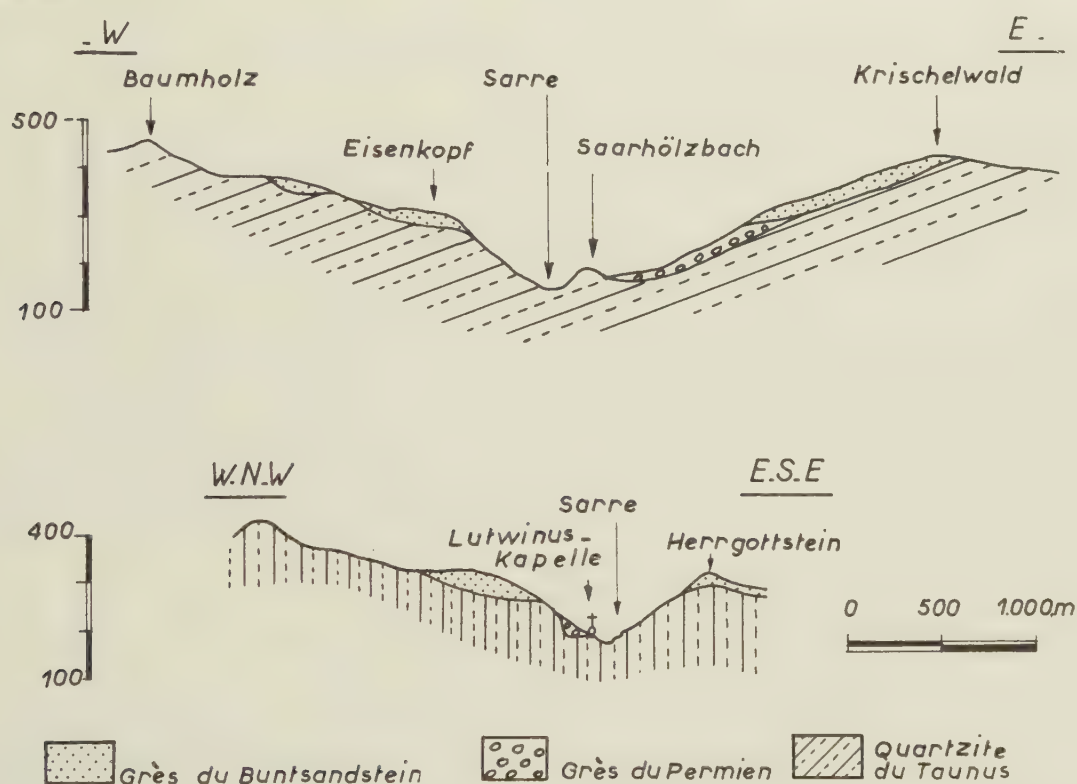


FIG. 27. — Coupes transversales de la vallée de la Sarre au N de Mettlach (Sarre), d'après des coupes établies par le Service géologique de la Sarre

Une certaine permanence des structures peut d'ailleurs être observée ailleurs que dans la plaine du Rhin : G. SELZER (1958, p. 620) a signalé dans une brève mais importante note qu'à l'emplacement du cours actuel de la Sarre une vallée existait déjà au Permien et au Trias, dans la région de Mettlach (Saarland) : parmi plusieurs coupes transversales établies par le « Geologisches

Landesamt des Saarlandes » dans la vallée de la Sarre et dans celle de son affluent le Steinbach nous en avons choisi deux qui illustrent bien ce fait (fig. 27) (1).

Et notre conclusion sera celle que A. DE LAPPARENT formulait déjà en 1897 à la fin de sa « Note sur l'histoire géologique des Vosges » :

« La conception que j'indique peut du moins revendiquer ce mérite, de ne pas chercher à se traduire par une formule d'une simplicité trop séduisante. Elle tient compte, à la fois de la complexité habituelle des phénomènes géologiques et de cette grande loi, de jour en jour mieux vérifiée par l'analyse détaillée des montagnes, que les accidents de l'écorce terrestre se préparent de longue date, s'essayent, en quelque sorte, par des approximations successives, avant de revêtir la forme qui caractérisera leur apogée ».

(1) Nous tenons à remercier ici M. le D^r H. Selzer, Directeur du Service géologique de la Sarre, et M. le D^r E. Müller, Landesgeologe à ce Service, qui ont bien voulu me communiquer ces coupes inédites et m'autoriser à les publier.

CHAPITRE III

LE PAYSAGE DE L'EST DE LA FRANCE A L'ÉPOQUE DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN

A. — LA LORRAINE ET L'ALSACE AU COURS DES TEMPS PERMIENS

Au cours des 25 millions d'années que dura le Permien, les importants reliefs mis en place pendant les derniers stades orogéniques hercyniens sont détruits; les produits de ce démantèlement s'accumulent sur place, dans des bassins locaux ce qui explique l'épaisseur très variable des sédiments; ceux-ci sont grossiers, anguleux, non triés, peu évolués mécaniquement et chimiquement; leur étude granulométrique et morphoscopique indique une provenance très proche, un transport bref, un épandage brutal sous forme de coulées boueuses dans des cuvettes situées au pied même des reliefs, un dépôt terrestre de piedmont qui évoque un phénomène de sheet-flood.

La latitude de cette région était sans doute équatoriale ou tropicale, et le climat comparable à celui de l'actuelle zone soudano-sahélienne. La faible évolution chimique des sédiments était due en partie à leur enfouissement rapide, conséquences des dépôts importants.

Au Permien supérieur, la mer germanique du Zechstein vient lécher le NW de notre région; ses rivages sont bien connus depuis que des cartes paléogéographiques très exactes ont été dressées (F. FORCHE, 1935, p. 38, fig. 3; M. GIGNOUX, *Traité*, 5^e édition). Au S de cette mer, la sédimentation se poursuivait, sans doute semblable à ce qu'elle avait été jusqu'alors, sous forme de sables feldspathiques grossiers qui continuaient à s'épandre dans les cuvettes dont la surface s'élargissait tandis que le domaine montagneux se rétrécissait en s'abaissant.

B. — LA LORRAINE ET L'ALSACE A L'EPOQUE DU BUNTSANDSTEIN

Le Buntsandstein est partout transgressif sur le Permien ou sur le socle hercynien et cette transgression s'est progressivement poursuivie d'E en W : à partir d'observations diverses, plusieurs auteurs l'ont montré (R. BRINKMANN, 1926; F. FORCHE, 1935; J. RICOUR, 1960).

Avec le Buntsandstein, les apports locaux ne cessent pas, mais ils sont dilués par des apports lointains, et cette dilution s'accroît de plus en plus au fur et à mesure de l'écoulement du temps. R. BRINKMANN (1926) fait venir ces matériaux d'un « *Gallisches Land* » ou « *Continent Gallique* » (N. THEOBALD, 1951) ou encore « *Continent gaulois* ». Avec les éléments que nous possédons, est-il possible de déterminer la constitution et l'emplacement de ce continent ?

1° Emplacement et constitution du Continent Gaulois.

a) C'est dans la région de Darney et de Monthureux-sur-Saône que l'on rencontre les plus gros galets dans le Conglomérat principal. A partir de là, les dimensions des galets décroissent régulièrement vers le NE, vers l'E et vers le SE; c'est donc vers l'W ou le SW de Darney qu'il convient de rechercher leur origine.

b) Dans la même région, les mesures de stratification indiquent des courants venant de l'W et du SW et dirigés vers le NE et vers l'E : c'est donc à l'W et au SW de Darney que l'on doit rechercher le « Continent gaulois » susceptible d'avoir fourni les matériaux du Buntsandstein.

c) La nature de ces matériaux peut également nous guider :

Les grains de quartz constituent une masse énorme de sédiments qui ne peuvent provenir du remaniement de formations sédimentaires antérieures; il nous faut chercher leur origine parmi les roches granitiques et gneissiques.

Parmi les galets nous trouvons :

— des quartz filoniens, ce qui ne fournit aucune indication sur l'origine possible.

— des quartzites du Dévonien inférieur (Siegénien) que l'on ne retrouve actuellement que dans le Taunus; ceci a fait écrire à plusieurs auteurs que les galets du Buntsandstein des Vosges provenaient du Taunus, ce qui est en contradiction avec les études sédimentologiques que nous avons exposées : le massif du Taunus n'a fourni des galets qu'aux régions avoisinantes :

— des lydiennes du Gothlandien;

— des gneiss en faible proportion;

— des granites plus rares encore.

Or, ni le Morvan, ni le Massif de la Serre, ni les Vosges ne présentent d'affleurements de lydiennes gothlandiennes ou de quartzites dévoniennes; à l'W de Darney, les forages de Lamarche et de Damblain nous enseignent que le socle hercynien est granitique (L. GUILLAUME et G. MINOUX, 1954; G. MINOUX, 1958); enfin les pointements cristallins de Châtillon-sur-Saône et de Bussièrès-les-Belmont (G. GARDET, 1956) sont constitués par des micaschistes et par des gneiss.

Dans aucun de ces massifs il n'existe donc de lydiennes ni de quartzites. Et cependant, d'accord avec BRINKMANN et avec FORCHE nous sommes obligés de supposer qu'à une cinquantaine de kilomètres au SW de Darney existait un continent hercynien formé en partie de lydiennes et de quartzites recouvrant un vieux socle granito-gneissique que l'on retrouve seul actuellement.

Il convient d'ailleurs de noter que la masse totale des quartzites est faible par rapport à celle des grains de quartz qui constituent la totalité des grès du Buntsandstein : il n'est donc pas nécessaire que les affleurements de quartzite aient été très importants et il est fort possible que l'érosion les ait fait entièrement disparaître. La masse totale des lydiennes est encore plus faible que celles des quartzites et les affleurements d'origine ont pu être plus réduits encore. Appartenant au Continent gaulois, ces affleurements de quartzite et de lydienne que nous situerions volontiers dans la région de Bussièrès-les-Belmont, peuvent donc avoir totalement disparu.

A partir de l'étude des forages du Bassin de Paris, J. RICOUR (1959 a et b) a fourni une carte paléogéographique des limites occidentales des faciès du Trias en Lorraine et P. MAUBEUGE (1960) une carte des limites hypothétiques des divers bassins du Trias et du Jurassique. Bien qu'il ne soit mentionné sur aucune des deux cartes, le Continent Gaulois se dessine très nettement au SW de Bleurville (localité située entre Darney et Monthureux-sur-Saône), et au S de Damblain; au N des Vosges, le Hunsrück est également mis en place (carte de J. RICOUR), et nous savons qu'à son approche, le Buntsandstein diminue d'épaisseur puis disparaît; entre le Hunsrück et le Continent Gaulois, se creuse un vaste golfe, allongé suivant un axe SW-NE, ouvert vers le NE et dont le creux suit la ligne Bar-sur-Aube, Nancy, Sarrebourg-Sarreguemines, Pirmasens et de là se poursuit dans le Niederrheinland et la Hesse.

Ceci contredit l'hypothèse de BRINKMANN et de FORCHE d'un Gallisches Land continu entre le Morvan et le Hunsrück et oblige à localiser de façon plus précise le Continent Gaulois tout en rétrécissant considérablement sa superficie.

C'est donc à partir de ce continent que les matériaux vont s'écouler jusqu'à l'emplacement où nous les connaissons : accumulation saccadée et rythmique dans des bassins à fond subsident ou sur des seuils immuables; nous trouvons là les deux caractères, rythme et subsidence, que l'on rencontre fréquemment liés à ce type de dépôt et dont nous allons rechercher les causes possibles.

2° Subsidence et sédimentation rythmique dans le Buntsandstein.

Trois causes possibles ont été évoquées pour expliquer l'origine de ce type de sédimentation (RICHTER-BERNBURG, 1950) :

- les saccades tectoniques (P. PRUVOST, 1930);
- les pulsations climatiques (M. GIGNOUX, 1950);
- les divagations des courants (A. BERSIER, 1949, 1953, 1958).

Ces trois phénomènes eurent chacun leur heure de succès dans l'explication de la sédimentation rythmique liée ou non à la subsidence; mais, dans le cas du Buntsandstein, il convient de distinguer deux échelles : celle du banc et celle de la formation.

a) Subsidence et sédimentation rythmique à l'échelle du banc.

Nous avons déjà exposé (p. 118) comment chaque banc est caractérisé par une granodécroissance d'abord rapide, ensuite plus lente. Pour expliquer ce phénomène, la théorie des saccades tectoniques ne peut guère être retenue : en effet, qu'ils soient fins, grossiers ou conglomératiques, on s'aperçoit, quand on peut les suivre sur des distances suffisantes, que les bancs ne sont pas continus mais lenticulaires.

La théorie des pulsations climatiques doit être exclue pour la même raison.

En revanche, la théorie de la *divagation des courants* est en plein accord avec les faits : A. BERSIER (1949, 1953, 1958) a montré que la disposition lenticulaire des bancs de la molasse aquitanienne de la région lausannoise s'explique facilement par de banales divagations de courants. Nous inspirant de ces travaux nous avons montré (p. 169) que les stratifications entrecroisées étaient le fait de chenaux qui avaient alluvionné en s'élevant sur leur propre lit, puis avaient rompu leurs digues lors d'une crue et s'étaient répandus sur la plaine basse au-dessus de laquelle ils s'étaient élevés, divaguant ainsi sans cesse sur toute l'étendue de cette plaine.

b) Subsidence et sédimentation rythmique à l'échelle de la formation (1).

Par les travaux que H. BOIGK (1956) et G. GUNZERT (1958) ont effectué, l'un en Hesse, l'autre dans le Niederrheinland, dans le centre de la cuvette germanique du Buntsandstein, là où le Trias inférieur est épais de 1 200 à 1 400 m, nous savons qu'une sédimentation rythmique a été mise en évidence, dans le Buntsandstein moyen, à l'échelle de la formation : chaque rythme débute par un Conglomérat, se poursuit par un grès d'abord sans argile, puis argileux, et s'achève par un lit argileux.

Dans la série réduite du Buntsandstein sarro-lorrain, on peut de la même façon mettre en évidence trois rythmes majeurs qui sont de haut en bas :

Rythme III :

- Grès argileux : alternance de grès argileux et d'argile;
- Grès à Meules : grès argileux à grain fin;
- Couches intermédiaires supérieures : grès à grain fin;
- Couches intermédiaires inférieures : grès grossier à galets.

Dans ce rythme majeur, des rythmes de deuxième ordre peuvent être mis en évidence de haut en bas :

- c) Cycle du Grès à Voltzia { Grès argileux
- { Grès à Meules.

b) Cycle des Couches intermédiaires supérieures qui débute à la base avec les grès et s'achève au sommet avec l'Argile-Limite et le Banc de brèche dolomitique supérieure.

A l'intérieur de ce cycle, on pourrait encore mettre en évidence deux ou trois cycles de troisième ordre s'achevant tous par une de ces zones violettes que nous avons décrites dans les Couches intermédiaires supérieures.

a) Cycle des Couches intermédiaires inférieures qui débute à la base par un grès grossier à galets (Karneolkonglomerat) et s'achève par les grès argileux de la Zone-Violette-Supérieure.

Rythme II :

Zone-Limite-Violette marquant un arrêt de la sédimentation et constitué par des grès argileux dolomités et silicifiés;

Conglomérat principal : grès très conglomératique s'achevant au sommet par un à trois mètres de grès sans galets.

(1) Ce paragraphe est le fruit de nombreuses conversations que j'ai eues avec mon collègue et ami E. Müller, de Sarrebrück, et le résultat d'une amicale collaboration sur le terrain, tant en Sarre qu'en Lorraine.

Rythme I :

*Grès vosgien supérieur, relativement fin, à rares galets;
Grès vosgien inférieur, relativement grossier, à galets assez nombreux;
Conglomérat inférieur.*

A l'intérieur de ce rythme majeur, il serait peut-être possible de mettre en évidence des rythmes de deuxième ou de troisième ordre si les affleurements étaient assez nombreux et suffisamment étendus verticalement pour autoriser des comparaisons régionales.

Il est certain que ces rythmes ne peuvent pas s'expliquer par la théorie des courants divagants; en revanche, celle des pulsations climatiques expliquerait assez bien les faits, surtout si on l'associe à celle de la biorhexistasie de H. EHRART (1956) : après une période de rhexistasie modérée (rythme I) survint une période de rhexistasie prononcée (rythme II) qui s'adoucit par paliers successifs (rythme III).

Ayant établi le mode de dépôt des sédiments issus du Continent Gaulois évoquons maintenant l'aspect du paysage de l'avant-pays aux diverses époques du Buntsandstein.

3° Le paysage de l'E de la France à l'époque du Grès Vosgien.

La morphoscopie des grains de quartz indique pour ce matériel une éolisation accentuée, qui cadre avec l'hypothèse d'un climat à période sèche longue et prononcée. Cependant ce matériel n'a pu être mis en place que par l'élément liquide (présence de galets, de plus de 10 cm de longueur, groupés à la base du Grès vosgien en un Conglomérat inférieur et disséminés ensuite dans la masse). Cet élément était d'ailleurs temporaire : sur ce plat continent circulaient des cours d'eau intermittents, enchevêtrés les uns dans les autres, qui changeaient de lit à chaque crue, se capturant mutuellement et sentrecoupant, créant en fin de compte cette stratification entrecroisée que nous avons décrite.

Ces cours d'eau intermittents et divagants abandonnaient donc à l'air libre leurs alluvions qui s'accumulaient en une sédimentation entrecroisée; ou bien encore ils les poussaient jusque dans des cuvettes lacustres peu profondes et très étroitement localisées, plus fréquentes au NE des Vosges qu'au SW; une partie des sédiments s'arrêtait au bord, formant des deltas sous-lacustres où dominait la sédimentation oblique; quant au restant il s'accumulait tranquillement dans ces lacs peu profonds en une sédimentation horizontale.

Ces cuvettes lacustres finissaient par se combler si bien qu'à une sédimentation horizontale fait souvent suite une sédimentation entrecroisée.

Chaque période humide a pu être à l'origine d'une crue, à l'origine aussi d'un cycle mineur de sédimentation, matérialisé par un banc à base grossière et à sommet argileux. De temps à autre la crue était plus importante et une chasse d'eau plus forte entraînait non plus du sable mais des galets, si bien que quelques bancs conglomératiques apparaissent de-ci, de-là dans la masse des grès.

Une subsidence d'une certaine intensité compensait altimétriquement l'accumulation des sédiments; dans l'ensemble cependant l'accumulation fut plus rapide que l'enfoncement, si bien que le Grès vosgien est progressivement monté à l'assaut du massif des Vosges dont il a noyé le relief encore mouvementé et qu'il a entièrement recouvert : au NE du Col du Bonhomme, le lambeau du Rossberg, en est le témoin.

4° Le paysage de l'E de la France à l'époque du Conglomérat principal.

Le paysage n'a pas changé : ce sont les mêmes cours d'eau divagants qui se coupent et s'entremêlent, mais les fortes chasses d'eau qui apportent les galets se multiplient et s'intensifient.

Dans la partie SW des Vosges, les dépôts s'effectuent à l'air libre, les galets sont abandonnés pêle-mêle et en vrac, mais plus on s'éloigne vers le NE, d'autant mieux classés sont les dépôts : la sédimentation s'effectue de plus en plus fréquemment dans de vastes étendues d'eau douce où les galets ont subi un début de litage régulier.

Sur les seuils, les courants ne sont souvent pas assez puissants pour apporter des alluvions grossières; les galets sont plus petits et la sédimentation plus calme. C'est ainsi dans le Palatinat septentrional, en Sarre et dans la région de Saint-Avold qui sont situés en dehors de l'axe du courant majeur lorraino-palatin; les alluvions déposées à l'époque du Conglomérat principal y sont moins grossières qu'ailleurs; dans les bancs conglomératiques, les galets sont petits et à l'approche des seuils ils disparaissent même totalement; le Conglomérat principal ne se distingue plus

alors du Grès sous-jacent, (Sm^2), notamment dans la région comprise entre la bordure septentrionale de la Plaine de Creutzwald-la-Croix (frontière sarro-lorraine) et la lisière méridionale du Hunsrück (E. MÜLLER, 1954b, p. 178). La sédimentation calme qui se traduit par une stratification pelliculaire et horizontale a même permis à MÜLLER de distinguer au-dessus du Sm^2 un Sm^3 que j'interprète comme un équivalent latéral du Conglomérat principal; la Zone-Limite-Violette, horizon-repère caractéristique, m'y autorise car elle couronne aussi bien le grès Sm^3 que le Conglomérat principal.

Vers la fin de l'époque du Conglomérat principal, la sédimentation s'arrête et le sommet des alluvions fraîchement déposées subit de ce fait une altération mécanique et chimique: certains grains de quartz ont été fragmentés, d'autres corrodés puis épigénisés par des carbonates (dolomite) qui furent à leur tour épigénisés par la cornaline. La dolomitisation est du type épigénétique et l'environnement permet de penser qu'elle s'est effectuée *en milieu continental*; la silicification laisse à penser à une action pédologique sous climat chaud et une coloration violette, peut-être dûe à une action bactérienne, envahit les sédiments.

5° Paysage de l'E de la France à l'époque des Couches intermédiaires.

Après cet arrêt la sédimentation reprend, assez semblable à ce qu'elle était à l'époque du Grès vosgien: bien que les grains de sable ne soient plus éolisés, les galets à facettes des Couches intermédiaires inférieures attestent que les influences éoliennes n'ont pas totalement disparu; elles s'atténuent cependant de plus en plus et les dépôts en milieu aqueux s'accroissent: à l'époque des Couches intermédiaires inférieures, de nombreux cours d'eau divagants déposent encore leurs alluvions à l'air libre ou sur des étendues lacustres peu profondes; après un nouvel arrêt de la sédimentation accompagné de phénomènes d'épigénisation (Zone-Violette-Supérieure) l'alluvionnement reprend, les bassins lacustres s'étendent mais une pauvre faune d'Esthéries atteste qu'ils sont temporaires.

Ce paysage lacustre va durer tout le temps du dépôt des Couches intermédiaires supérieures; de temps à autre un arrêt de la sédimentation et une mise à l'affleurement se produisent, des phénomènes d'épigénisation ont lieu et une zone violette se forme.

Vers la fin des Couches intermédiaires s'installe une végétation palustre d'Equisétales qui annonce le paysage bien connu du Grès à Voltzia.

6° Le paysage de l'E de la France à l'époque du Grès à Voltzia.

Les grains éolisés sont absents et la sédimentation s'effectue presque exclusivement en milieu aqueux; c'est ici que deux thèses s'affrontent: pour certains auteurs, ce milieu fut marin ou lagunaire, mais pour d'autres il fut simplement lacustre:

a) Le Grès à Voltzia est une formation marine.

Pour les anciens auteurs (ELIE DE BEAUMONT, etc...) aucun problème n'existe: puisque leur Grès bigarré comprend non seulement notre Grès à Voltzia mais aussi notre Grès coquillier largement pourvu en fossiles marins, le Grès bigarré est marin. Puis, dans ce « Grès bigarré d'ELIE DE BEAUMONT », les auteurs allemands (E. WEISS, E. BENECKE, etc) distinguent un Voltziensandstein et un Muschelsandstein: celui-ci renferme une riche faune marine qui l'apparente au Muschelkalk dont il constitue désormais la base; celui-là contient une riche flore continentale, des faunes dulçaquicoles et estuariennes et constitue le sommet d'un Buntsandstein qui, dans les Vosges, est continental du bas jusqu'en haut.

Tout semble désormais simple et clair; malheureusement dans les niveaux supérieurs de ce Grès à Voltzia continental, des chercheurs découvrent quelques bancs renfermant une faune marine. Ceci permet à certains auteurs épris de systématisation de conclure que tout le Grès à Voltzia est marin puisqu'il contient quelques couches marines (A. LIETARD, 1888, p. 64, P. MAUBEUGE; 1959, pp. 70 à 118).

Cependant, ce bât d'un dépôt marin ne laisse pas de blesser ses partisans les plus ardents: A. LIETARD lui-même cherche à expliquer les traces de pas de *Cheirotherium*, de *Nothosaurus* et de gouttes de pluie en présentant le Grès bigarré comme une formation littorale (1888, p. 66); mais pour expliquer comment il conçoit un littoral qui s'étend sur une surface de plusieurs milliers de kilomètres carrés, il imagine que les grands Vertébrés terrestres sont allés patauger très loin dans la mer, mais il ne se soucie pas de savoir si la mer respecte les traces de pas sur un rivage.

b) Le Grès à Voltzia est une formation continentale.

Ignorant les bancs marins du Grès à Voltzia et fondant leur opinion sur la présence de fossiles végétaux exclusivement continentaux, de nombreux géologues ont défendu ce point de vue. Cependant, au moment de broser un tableau paléogéographique du Grès à Voltzia, il faut tenir un compte exact de ces niveaux marins et leur attribuer l'importance qu'ils possèdent : ni trop, ni trop peu :

- ces niveaux marins sont rarissimes dans le Grès à Voltzia inférieur (= Grès à Meules);
- ils sont plus nombreux dans le Grès à Voltzia supérieur (Grès argileux) mais encore faut-il en préciser l'endroit : fréquents dans le Palatinat, dans le N de la Lorraine et de l'Alsace, ils le sont déjà moins dans les Vosges Gréseuses moyennes et totalement absents dans le Sud. On constate donc qu'aucun indice marin ne trouble la série gréseuse continentale dans les régions méridionales et occidentales, là où on sait déjà qu'à proximité se trouvait le Continental Gaulois fournisseur des matériaux : sans doute, la mer n'y parvint pas avant l'envahissement définitif qui se fit à l'époque du Grès coquillier.

En revanche, des poussées marines spasmodiques se firent sentir, de plus en plus fréquentes au fur et à mesure qu'on se rapproche de ces régions nord-orientales voisines de celles déjà recouvertes par la mer germanique qui élabore ce faciès « Röth » laguno-marin caractéristique des formations de même âge situées sur la rive droite du Rhin. Ajoutons que la faune abandonnée par ces poussées marines est très pauvre en espèces et caractéristique d'un milieu lagunaire sursalé ou saumâtre situé en marge du domaine continental et du domaine marin.

c) Le vrai paysage du Grès à Voltzia.

L. GRAUVOGEL (1947, 1951, 1952) l'a très bien décrit dans la région de Phalsbourg, de la Petite Pierre, de Bitche où les deux domaines marin et continental s'affrontèrent avec le plus d'intensité.

- *Le domaine continental* est attesté par les nombreux restes de végétaux qui évoquent la savane arborée caractéristique du « climax » de la zone soudano-sahélienne actuelle; il est attesté aussi par les nombreux microcycles à faune exclusivement dulçaquicole : larves et nymphes aquatiques d'Insectes, restes d'Insectes terrestres tombés dans l'eau. Dans cette région située au N de Phalsbourg, les lentilles et les bancs argilo-sableux dans lesquels a vécu cette faune a été déposée par des cours d'eau venus du NW; au S de Phalsbourg ils le furent par des cours d'eau venus du SW.

- *Le domaine marin* est représenté par quelques lits formés de microcycles à faune lagunaire ou estuarienne, parfois aussi franchement marine. Cette mer venait du NE, du domaine germanique où le sommet du Buntsandstein supérieur est déjà marin et représenté par le faciès Röth; toute la région actuellement occupée par le Palatinat, par la Lorraine et l'Alsace septentrionales et même centrales, aurait été occupée par une sorte de bassin allongé dans le sens SW-NE, assez comparable aux « Watten » évoquées par H. RUCKLIN (1954) dans son étude du Buntsandstein supérieur de la région sarroise : zone continentale lacustre à plusieurs reprises envahie puis libérée par la mer dont l'installation définitive sera marquée par les dépôts du Grès Coquillier. A l'W de ce bassin très peu profond s'étendait un continent bas et marécageux dont un fragment nous est accessible puisque représenté par la région sarroise, sur lequel s'ébattaient les grands vertébrés auteurs des traces de pas connues sous le nom d'empreintes de *Cheirotherium* et qui fut également envahi par quelques avancées marines.

Au S du golfe palatino-lorrain, s'étendait aussi un continent bas et marécageux, parfois envahi mais très rapidement libéré par la mer (région de Cirey-sur-Vezouse, de Bruyères, d'Epinal, de Darney, de Luxeuil de Lure...). Cette zone marécageuse et basse se rattachait insensiblement vers le SW au Continent Gaulois fournisseur de matériaux et vers l'E au Seuil Vosgien sur lequel aucun dépôt ne s'effectuait. Contournant ce Seuil Vosgien par Lure, Belfort et Thann, un sillon, par lequel arrivait les alluvions issues du Continent Gaulois, se poursuivait au N par le bassin alsacien. Affecté en son centre d'une subsidence notable qui permit l'accumulation d'une grande épaisseur de sédiments, ce bassin était situé à l'emplacement actuel de la plaine du Rhin constituant une zone de moindre résistance qui a sans doute préparé le grand effondrement oligocène. Ce bassin rhénan longeait du S au N le Seuil Vosgien et rejoignait vers le N le bassin palatino-lorrain.

Située au pied d'un Continent Gaulois peu élevé d'où descendaient des cours d'eau divagants, lents et limoneux, notre région constituait un vaste pays plat creusé de bassins peu profonds, l'un palatino-lorrain, l'autre alsacien, qui se rejoignaient vers le S et vers le N, entourant un îlot Vosgien bas sur l'eau. La mer germanique qui s'étendait au NE poussait quelques pointes, vite retirées et abandonnait ses coquillages témoins d'une pauvre faune lagunaire.

A la fin de l'époque du Grès à Voltzia, le continent est envahi par cette mer germanique définitivement, alors le Grès coquillier, base du Muschelkalk, commence à se déposer.

BIBLIOGRAPHIE

- ABRARD R. (1946). — Sur la formation du détroit Morvano-Vosgien. *C.R. Ac. Sc.*, t. 222, pp. 967-969.
- ABRARD R. (1947). — Le détroit franco-germain. *C.R. Ac. Sc.*, t. 225, pp. 1014-1016.
- ABRARD R. (1947). — L'exondation posthercynienne des Vosges. *Bull. Muséum Hist. nat.*, pp. 471-474.
- ALIMEN H., CHAVAILLON J. et CONRAD G. (1959). — Formations arides et paléosols quaternaires au Sahara Nord-occidental. *C.R. S.G.F.*, fasc. 5, 4 mai, p. 104.
- ALIMEN H. et BEUCHER Fr. (1960). — Premiers résultats d'une étude statistique de la forme des grains de quartz dans des sables d'origines diverses. *C.R. Ac. Sc.*, t. 250, pp. 165-167.
- ALBERTI F. VON (1834). — Beitrag zu einer Monographie des bunten Sandsteins, Muschelkalks und Keupers und die Verbindung dieser Gebilde zu einer Formation. (*Stuttgart und Tübingen*) Cotta.
- ARABU N. (1925). — Sur la tectonique du champ de fractures de Ribeauvillé au N de la Strengbach. *C.R., Ac. Sc.*, p. 401.
- ARABU N. (1925). — Remarques stratigraphiques sur le champ de fractures de Ribeauvillé au N. de la Strengbach. *C.R., Ac., Sc.*, p. 220.
- ARABU N. (1927). — La tectonique du champ de fractures du Haut Koenigsbourg, Vosges moyennes. *C.R., S.G.F.*, p. 115.
- ARABU N. (1930). — Nouvelles données géologiques sur le champ de fractures de Ribeauvillé. *C.R., S.G.F.*, p. 95.
- AUBERT G. (1951). — Les sols et l'aménagement agricole de l'A.O.F. (*Cahiers Ing. Agr.*, 2^e trimestre, pp. 21-24).
- AUBERT G. et MONJAUZE A. (1946). — Observations sur quelques sols de l'Oranie nord-occidentale. Influence du déboisement et de l'érosion sur leur évolution. *C.R. Séances Soc. Biogéogr.*, t. 23, 199, pp. 41-51.
- AUTHELIN Ch. et NICKLES R. (1899). — C.R. des excursions de la session extraordinaire de la Société Belge de Géologie à Nancy et dans les Vosges. *Bull. Soc. Bel. Géol.*, t. XIII.
- BAILEY E.H. et STEVENS R. E. (1960). — Selective staining of K-feldspar and plagioclase on rock slabs and thin sections. *The American Mineralogist.*, vol. 45, sept. oct., n° 9 et 10, pp. 1020-1025.
- BARON G. (1960). — Sur la synthèse de la dolomite. Application au phénomène de dolomitisation. *Thèse*, Paris, 15 déc. 1959, et *Revue de l'I.F.P.*, XV-I, pp. 3-67.
- BEAUJEU-GARNIER J. (1952). — Quelques données nouvelles à propos des massifs anciens. *Rev. Géomorph. dyn.* III (2), pp. 57-78.
- BEAUMONT (L. ELIE DE). — Cf. ELIE DE BEAUMONT L.
- BELLAIR P. (1952). — Sables désertiques et morphologie éolienne. XIX^e Congr. géol. Intern. Alger., p. 42.
- BENECKE E. W. (1877). — Über die Trias in Elsass-Lothringen und Luxemburg. *Abh. zur Geol. Spez. K. v. E.L.*, Bd-1-4-4, pp. 491-829.
- BENECKE E. W. (1878). — Abriss der Geologie von Elsass-Lothringen. (*Besonderer Abdruck aus der statistischen Beschreibung von Elsass-Lothringen - Strassburg*).
- BENECKE E. W. (1886). — Über den Buntsandstein der Gegend von Weissenburg. (*Mittl. d. Com-miss. f.d. Geol. Landes-Unters. von Els. Lothr. I.* pp. 9-13).
- BENECKE E. W. et WERVEKE L. van (1890). — Über das Rothliegende der Vogesen. (*Mittl. der geol. Landesanstalt von Els. Lothr.*, Bd III, pp. 45-103).
- BENECKE E. W., SCHUMACHER E., BÜCKING H. et WERVEKE L. van (1900). — Geologischer Führer durch das Elsass, Berlin.

- BERSIER A. (1949). — La sédimentation cyclique de type molassique paralique en fonction de la subsidence continue. *Sédimentation et Quaternaire, France*, Led. Sam éd., oBrdeaux.
- BERSIER A. (1953). — La sédimentation cyclique des faciès détritiques molassique et houiller; signification et causes. *Coll. Ass. Int. Séd., Rev. I.F.P.*, p. 51.
- BERSIER A. (1958). — Séquences détritiques et divagations fluviales. *C.R. 5^e Congr. Int. Séd. (Ecl. géol. helv.)*, vol. 51, n° 3), pp. 854-893.
- BERTHOIS L. (1952). — Genèse et caractères des galets argileux en Loire. *C.R. S.G.F.*, nos 13-14, pp. 264-266.
- BERTHOIS L. (1952). — Abaques pour le calcul des indices des galets. *Rev. Géomorph. Dyn.*, 3^e année, n° 4, pp. 199-204.
- BERTHOIS L., PORTIER J. (1957). — Recherches expérimentales sur le façonnement des grains de sable quartzeux. *C.R. Ac. Sc.*, t. 245, pp. 1152-1154.
- BETRÉMIEUX R. (1951). — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. *Extrait des Annales Agronomiques*, n° 3, pp. 193-295.
- BILL Ph. (1914). — Uber Crustaceen aus dem Voltziensandstein des Elsasses. *Mittl. Geol. Land. Els. Lothr.*, Bd VIII; H. 3, pp. 289-338.
- BILLY DE (1848). — Carte géologique au 1/80 000 du Département des Vosges, Paris.
- BILLY DE (1850). — Esquisse géologique du Département des Vosges. *Ann. Soc. Emul. des Vosges*, t. VII, p. 295.
- BIROT F. (1952). — Sur le mécanisme des transports solides dans les cours d'eau. *Rev. de Géomorph. Dyn.*, n° 3, pp. 105-142.
- BLACKETT P.M.S. (1947). — *Nature*, vol. 159, p. 658.
- BLEICHER G. (1870). — Essai de géologie comparée des Pyrénées, du Plateau Central et des Vosges. *Thèse Fac. des Sc. Montpellier*, Colmar, 1870.
- BLEICHER G. (1887). — Guide du Géologue en Lorraine, Paris, 1887.
- BLEICHER G. (1897). — C.R. des excursions de la réunion extraordinaire de la Soc. Géol. de Fr. dans les Vosges du 30 août au 6 sept. 1897. *B.S.G.F.*, 3^e série, t. XXV, pp. 922-998.
- BLEICHER G. (1900). — Recherches sur l'origine et la nature des éléments du Grès des Vosges. *Bull. de la Soc. des Sc. de Nancy*.
- BLEICHER G. (1901). — Nouvelles découvertes de fossiles dans les poudingues du Grès Vosgien et faits relatifs à la dénudation des Vosges et des Alpes. *Bull. de la Soc. des Sc. de Nancy*, 1^{er} juin.
- BOIGK H. (1956). — Ausbildung und Paläogeographie des Buntsandsteins im nördlichen Teil der Niederrheinischen Bucht und seine Beziehung zu benachbarten Gebieten. *Geol. Jahrbuch*, Hannover, Band 72, pp. 347-366.
- BOIGK H. (1956). — Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im Raume Südhannover. *Geol. Jahrbuch, Hannover*, Band 72, pp. 325-340.
- BONTE A. (1953). — Sur la genèse des quartz bipyramidés. *C.R. S.G.F.*, fasc. 11, p. 253.
- BONTE A. (1955). — Sur la signification des sédiments rouges et verts du Trias. 4^e Cong. Intern. Séd., Göttinge. *Geol. Rundsch.*, n° spécial.
- BONTE A. et CELET P. (1955). — Sur la signification des sédiments rouges et verts du Trias du Jura Français. *Geol. Rundsch*, Stuttgart, 43, pp. 342-350.
- BOUILLET G. et CAILLEUX A. (1949). — L'indice d'émoussé des galets de quartz. *C.R. S.G.F.*, 24 janv., p. 34.
- BOUILLET G. et CAILLEUX A. (1949). — L'indice d'émoussé des galets de gneiss. *C.R. S.G.F.*, 13 juin, p. 223.
- BOUILLET G. et CAILLEUX A. (1949). — L'indice d'émoussé des galets de roches volcaniques compactes. *C.R. S.G.F.*, 27 juin, p. 255.
- BOURCART J. (1934). — Sur les principales phases orogéniques de l'Atlas central. *C.R. S.G.F.*, 10, p. 141.
- BOURCART J. (1944). — Stratification ou litage. *C.R. S.G.F.*, 24 avril, pp. 75-77.
- BOURCART J. (1926). — Premiers résultats de recherches sur les sables du Sahara. *B.S.G.F.*, pp. 191-208.
- BOURCART J. et RICOUR J. (1952). — Essais sur les conditions de sédimentation des niveaux salifères du Trias. *Congr. Géol. Intern. XIX^e sess.*, Alger. Section XIII, pp. 35-47.
- BRACONNIER A. (1879). — Description des terrains qui constituent le sol du département de Meurthe et Moselle, Nancy.
- BRACONNIER A. (1883). — Description géologique et agronomique des terrains du département de Meurthe et Moselle, Nancy, Paris.

- BRAJNIKOV B. (1944). — Sur l'importance de la granulométrie pour l'étude quantitative des minéraux lourds dans un sédiment. *B.S.G.F.*, 5^e série, t. 14, pp. 381-390.
- BRINKMANN R. (1925). — Abh. Preuss. Geol. L. - A.N. 95.
- BRINKMANN R. (1926). — Tektonik und Sedimentation im deutschen Triasbecken. *Zeit deut. Geol. Gesell.*, 78.
- BRINKMANN R. (1933). — Über Kreuzschichtung im deutschen Buntsandsteinbecken. *Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Math-Phys. Kl.* (IV), pp. 1-12, Berlin.
- BRUNHES B., DAVID P. (1905). — Sur la direction de l'aimantation permanente dans une argile de Pontfarrin. *C.R. Ac. Sc.*, t. 141, p. 567.
- BRUNZEL K. (1896). — Das Rothliegende nördlich vom Donom. *Mitt. d. Geol. Land. v. Els. Lothr.*, Bd IV, pp. 175-194.
- BÜCKING H. (1890). — Das Rothliegende des Breuschtals. *Mitt. Commis. Geol. Landesuntersuchungen II*, p. 105.
- BÜCKING H. (1918-1920). — Beiträge zur Geologie des oberen Breuschtals in den Vogesen. *Mitt. Geol. Land. Els. Lothr. XII*, p. 1.
- CAILLEUX A. (1934). — L'orientation des galets dans certaines formations marines. *B.S.G.F.*, t. 4, pp. 3-12.
- CAILLEUX A. (1938). — La disposition individuelle des galets dans les formations détritiques. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, t. XI, fasc. 3, pp. 171-198.
- CAILLEUX A. (1943). — Distinction des sables marins et fluviatiles. *B.S.G.F.*, t. 13, pp. 125-138.
- CAILLEUX A. (1945). — Distinction des galets marins et fluviatiles. *B.S.G.F.*, t. 15, pp. 373-404.
- CAILLEUX A. (1946). — Granulométrie des formations à galets. *Sess. extr. Soc. belges de Géol.*
- CAILLEUX A. (1947). — L'indice d'éroussé : définition et première application. *C.R. S.G.F.*, n° 13-14, pp. 250-252.
- CAILLEUX A. (1950). — Ecoulements liquides en nappe et aplanissements. *Rev. Géomorph. dyn.*, 1^{re} année, n° 6, pp. 243-271.
- CAILLEUX A. (1950). — Paleoclimats et optimum physiologiques. *C.R. Soc. Biogéogr.*, vol. 27, n° 230, pp. 23-26.
- CAILLEUX A. (1951). — Interprétation climatique des érosions pliocènes et quaternaires en France. *C.R. S.G.F.*, n° 3, 5 fév., pp. 45-46.
- CAILLEUX A. (1952). — L'indice d'éroussé de grains de sable et grès. *Revue de Géomorph. dyn.* III (2), pp. 78-88.
- CAILLEUX A. (1954). — Limites dimensionnelles et noms des fractions granulométriques. *B.S.G.F.* (6) IV, pp. 643-646.
- CAILLEUX A. et TRICART J. (1959). — Initiation à l'étude des sables et des galets. 3 tomes, C.D.U., Paris.
- CARDOT C. (1911). — Le Trias inférieur de la Haute Vallée de l'Ognon. *Bull. Soc. Belfortaine d'émulation*, n° 30.
- CAROZZI A. (1953). — Pétrographie des Roches sédimentaires, Lausanne.
- CAYEUX L. (1916). — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. *Mémoire carte géol. France*. Texte et Atlas.
- CAYEUX L. (1929). — Les roches sédimentaires de France. Roches Siliceuses. (*Ibid.*).
- CAYEUX L. (1935). — Les roches sédimentaires de France. Roches carbonatées. Masson, Paris.
- CHEVALLIER R. (1925). — L'aimantation des laves de l'Etna et l'orientation du champ terrestre en Sicile au XII^e et au XIII^e siècles. *Ann. Phys.*, sér. 10, *P.H.S.*, t. IV, pp. 5-12.
- CHOUBERT G. (1934). — Les roches volcaniques permienues de la région de Senones - Saint-Dié (Vosges). 67^e Congrès des Soc. sav. p. 73.
- CHOUBERT G. (1950). — Réflexions sur le Pliocène continental. *Service géol., Maroc*. Notes et Mémoires, n° 76, pp. 13-91.
- CHOUBERT G. et GARDET G. (1935). — Contribution à l'étude du Permien des Vosges. *Rev. de Géogr. phys. et Géol. dyn.*, vol. VIII, fasc. 4, pp. 325-362.
- CLIN M., LAUGIER R., MILLOT G. (1957). — Un profil de la nappe des grès vosgiens le long de la vallée de la Meurthe. *B.S.G.F.* (6) VII, pp. 1015-1024.
- CLEGG J.A., DEUTSCH E.R., EVERITT C.W.F. et STUBBS P.H.S. (1957). — Some recent palaeomagnetic measurements made at Imperial College of Science and Technology, London. *Philosophical Magazine Supplement*, vol. 6, n° 22, pp. 219-231.
- COQUAND H. (1856). — Mémoire géologique sur l'existence du terrain permien et du représentant du grès vosgien dans le département de Saône et Loire et dans les montagnes de la Serre (Jura). *B.S.G.F.* (2) XIV, pp. 13-47, pl. I.

- COQUEBERT DE MONTBRET et OMALIUS D'HALLOY (1822). — Essai d'une carte géognostique de la France. *Ann. des Mines*.
- CORRENS C. W. (1952). — Les roches sédimentaires (traduction). La formation des roches. Un manuel de Pétrogénèse. Alger, 1952 (traduction). *Serv. de la Carte géol. d'Algérie*, 222 pages dactyl.
- CORROY G. (1928). — Les Vertébrés du Trias de Lorraine et le Trias lorrain. *Annales de Paléontologie*, t. XVII.
- CORROY G. (1934). — Etude stratigraphique et tectonique des régions N du seuil de Bourgogne et du bassin des eaux minérales vosgiennes, avec une carte tectonique. *Ann. Fac. Sc. de Marseille*, t. VII, fasc. 1.
- COX A. et DOELL R.R. (1960). — Review of Paleomagnetism. *Bull. of the geol. Soc. of America*, vol. 71, pp. 645-768.
- DAPPLES E.C., KRUMBEIN W.C. et STOLL L.L. (1953). — Petrographic and lithologic attributes of sandstones. *J. Geol.*, vol. 61, n° 4, pp. 291-317.
- DAUBRÉE A. (1852). — Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin (Strasbourg).
- DAUBRÉE A. (1858). — Découverte de traces de pattes de quadrupèdes dans le Grès bigarré de Saint-Valbert près de Luxeuil (Haute-Saône). *Mém. Soc. Sc. Nat.*, Strasbourg, t. V, 1^{er} Livre.
- DEECKE W. (1889). — Uber Fische aus verschiedenen Horizonten der Trias. *Paleontographica* XXXV, pp. 97-138.
- DEICHA G. (1942). — Stratification, stratification fine et microstratification. *C.R. S.G.F.*, 13 avril, p. 60.
- DELBOS et KOECHLIN-SCHLUMBERGER (1867). — Description géologique et minéralogique du département du Haut-Rhin. Mulhouse.
- DELLENBACH J. (1960). — Etude géologique de la région fracturée entre les vallées du Strengbach et de l'Eckenbach, au NE de Ribeauvillé (H.R.) *D.E.S. Sc. nat.*, Strasbourg.
- DERRUAU M. (1956). — Traité de Géomorphologie, Paris, Masson.
- DIETRICH Ph. de (1789). — Description des gîtes de minerais, forges, salines, des Pyrénées, de l'Alsace et de la Lorraine, Paris.
- DOBY A. (1908). — Les roches anciennes et le terrain permien de Châtillon Saône (Vosges). *C.R. Ac. Sc.*, 2 mars.
- DOLOMIEU D. DE GRATET DE (1798). — Note sur la géologie et la lithologie des Vosges. *Journal des Mines*, VII, p. 213.
- DORSEY G. E. (1926). — The origin of the color of red beds. *Jour. Geol.*, vol. 34, pp. 131-143.
- DUCHAUFOR P. (1960). — Précis de pédologie, Paris, Masson.
- DUBIEF J. (1952). — Le vent et les déplacements de sable au Sahara. *Trav. Inst. Rech. Sahar.*, n° 8, pp. 123-164.
- DUBOIS G. (1930). — Excursions en Lorraine et en Alsace. *B.S.G.F.*, t. XXX, pp. 1283-1287.
- DUBOIS G. (1933). — Succession stratigraphique des terrains secondaires tertiaires et quaternaires de la dépression alsacienne de Saverne. Note pour les excursions du Laboratoire de Géologie et de Paléontologie de la Faculté des Sciences de Strasbourg. Gap, Imprimerie Jean, 23 p.
- DUBOIS G. (1934). — Exposé sommaire de la géologie de l'Alsace et des Vosges. Livret guide de l'exc. Géol. inter-universitaire.
- DUBOIS G. (1946). — Sur l'extension du Permien dans la région du Donon. *C.R. S.G.F.*, p. 33.
- DUBOIS G. (1948). — Subdivisions et nomenclature nouvelles du Trias dans la région Nord-Est de la France. Livret n° 2 du Serv. de la Carte Géol. d'Alsace et de Lorraine, Strasbourg, 9 p., 1 tabl.
- DUBOIS G. (1952). — Colorations des sédiments triasiques. *C.R. S.G.F.*, n° 7, 31 mars, pp. 118-119.
- DUBOIS G. (1954). — Nomenclature française du Trias germanique. XIX^e Congrès int. Section XIII, fasc. XIII, Alger, 1952.
- DUBOIS G. et SAUVAGE J. (1948). — Description et explication élémentaires de la carte géologique murale de l'Alsace et de la Lorraine. Livret de service de la Carte géol. d'Als. Lor., n° 1.
- DUBOIS G., JAROVY M. et SAUVAGE C. (1949). — Résumé de la géologie du Palatinat rhénan et de ses abords. Livret n° 3 du Serv. Carte géol. Als. Lor., Strasbourg.
- DUBOIS G. et C. (1955). — La Géologie de l'Alsace. *Mém. du Serv. Carte géol. Als. Lor.*, Strasbourg.
- DUFRENOY A. et ELIE DE BEAUMONT L. (1830). — Mémoires pour servir à une description géologique de la France, Paris.
- DUFRENOY A. et ELIE DE BEAUMONT L. (1840). — Carte géologique de la France au 1/500 000, Paris.
- DUFRENOY A. et ELIE DE BEAUMONT L. (1841-1848). — Explication de la Carte Géologique de la France, Paris, Imprimerie royale, t. I, 1841, t. II, 1848.

- DUNHAM K.C. (1953). — Red coloration in desert formation of permien and triassic age in Britain XIX^e Congr. géol. intern., Alger, 1952, Section VII, p. 25.
- DUPAIN TRIEL (1784). — Carte minéralogique de la France où sont marqués les différents terrains principaux qui partagent le Royaume et les substances particulières qu'il renferme, dressée d'après les observations de M. Guettard, de l'Académie des Sciences (*Arch. Nat.*, NN 49, 1).
- EISSELE K. (1957). — Sedimentpetrographische Untersuchungen am Buntsandstein des Nord-schwarzwaldes. *Jahreshefte Geol. Land. in Baden-Würt.*, Bd 2, Freiburg/Breisgau, pp. 69-118.
- ELIE DE BEAUMONT L. (1827-1828). — Observations géologiques sur les différentes formations qui, dans le système des Vosges, séparent la formation houillère de celle du Lias. *Ann. des Mines*, Paris. (1) 2^e série, t. 1, 1827, pp. 393-468, pl. V-VI; (2) 2^e série, t. 4, 1828, pp. 3-82, pl. I; réunis en 1 vol. : Paris, impr. Hujard, 1828.
- ERHART H. (1956). — La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson éd., Paris.
- ETALLON A. (1859). — Description des crustacés fossiles de la Haute-Saône et du Haut Jura. *B.S.G.F.*, 2^e série, t. XVI, pp. 169-205, pl. III à VI.
- FAIRBRIDGE R. W. (1957). — The dolomite question in regional aspects of Carbonate Deposition. *Publ. of the Soc. Econom. Paleontol. Mineral*, n° 5, pp. 125-178.
- FALKE A. (1950). — Stratigraphische Probleme des pfälzischen Rotliegenden. *N.J. Geol. Pal.*, H. 5.
- FIRTION F. (1934). — Description d'une nouvelle espèce de Saurichthys du Grès à Voltzia de Wasselonne. *Bull. Serv. Carte géol. Al. Lorr.*, t. 2, fasc. 2, pp. 89-97, pl. IX.
- FIRTION F. (1936). — Note sur quelques gisements fossilifères du grès à Voltzia d'Alsace. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lor.*, t. III, 1 pl., pp. 13-20.
- FLANDRIN J. (1958). — Essai de dénomination des roches sédimentaires par l'emploi systématique des diagrammes triangulaires. V^e Congr. intern. de Séd., *Ecl. géol. helv.*, vol. 51, n° 3.
- FLICHE P. (1903). — Sur les Lycopodinées du Trias en Lorraine. *C.R. Ac. Sc.*, 6 avril.
- FLICHE P. (1905, 1906, 1908, 1910). — Flore fossile du Trias en Lorraine et en Franche-Comté. *Bull. de la Soc. des Sci. de Nancy* (t. VI, fasc. 3, t. VII, fasc. 2, t. IX, fasc. 2, t. XI, fasc. 2).
- FLICHE P. (1909). — Sur une fructification de Lycopodinée trouvée dans le Trias. *C.R. Ac. Sc.*, t. CXLVIII, p. 259.
- FOLK R. L. (1954). — The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.*, vol. 62, n° 4, juillet, pp. 344-359.
- FONDEUR C., GOTTIS M., ROUIRE J. et VATAN A. (1952). — Quelques aspects de la dolomitisation du Jurassique en France. *Congr. géol. d'Alger*, fasc. XV, sect. XIII, pp. 471-491.
- FORCHE F. (1935). — Stratigraphie und Paleogeographie des Buntsandsteins im Umkreis der Vogesen. *Mitteilungen aus dem geologischen Staatsinstitut in Hamburg*.
- FOURMENTRAUX J., PONTARLIER J., LAVIGNE J. et POJOL P. (1959). — Trias, Jurassique inférieur et moyen de l'Est du Bassin de Paris : présentation des cartes d'Isopaques et de lithofaciès. *Revue de l'I.F.P.*, vol. XIV, 9, pp. 1063-1090.
- FRANCK M. (1937). — Paleogeographischer Atlas von Südwestdeutschland. *Mittl. geol. Abt. Württ. Staat. Land.*, n° 17, Stuttgart.
- FRANCK M. (1937). — Ergebnisse neuer Untersuchungen über Fazies und Bildung von Trias und Jura in Südwestdeutschland. *Geol. Rundsch.* 28, pp. 465-498.
- FREIESLEBEN (1809). — Geognostische Arbeiten. Bd 1, p. 13.
- FRENTZEN K. (1931). — Die Bildungsgeschichte des oberen Buntsandsteins Südwest-deutschlands im Lichte der Paläontologie. *Z. deutsch. geol. Ges.* 83, Berlin.
- FÜCHSEL G. C. (1761). — Historia terrae et maris ex historia Thuringiae per montium descriptionem erota. *Actor. Acad. Elector. Mogunt.*, t. IV, Erfurt.
- GARDET G. (1932). — Le Permien des environs d'Etival, de Senones et de Raon l'Etape (Vosges). Feuille de Lunéville. *C.R. Serv. C. géol. Fr.*, vol. XXXVI, pp. 70-72.
- GARDET G. (1939). — Feuille d'Epinal 1/80 000 (2^e édition) (Permien et Trias).
- GARDET G. (avec la collaboration de LAUGIER R.) (1956). — A propos du pointement cristallin de Bussières-les-Belmont (Haute-Marne) *Bull. Soc. des Sc.*, Nancy.
- GAUDEL (1837). — Esquisse géognostique du système du Rhin entre Bâle et Mayence, par MM. d'Oeynhaus, de Dechen et de La Roche (1825); extrait comprenant les formations antérieures au grès des Vosges, traduit de l'allemand par M. Gaudel, pharmacien à Bruyères. *Ann. de la Soc. d'émulation des Vosges*, III.
- GEZE B. (1947). — Paléosols et sols dus à l'évolution actuelle. *Ann. de l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier*, t. 27, fasc. IV, pp. 1-25.
- GIGNOUX M. (1950). — Sédimentation rythmique dans les plaines maritimes et au fond des mers. *C.R. Ac. Sc.*, t. 230, pp. 695-698.

- GIGNOUX M. (1960). — Géologie stratigraphique. 5^e édition complétée d'un addendum par L. MORET, Masson, Paris.
- GLANGEAUD L. (1938). — Etudes quantitatives et expérimentales sur l'érosion et le transport par les eaux courantes. *Rev. Géol. dyn.* fasc. 4, pp. 322-370.
- GLANGEAUD L. (1949). — Observations sur le triage granulométrique des sédiments le long des plages sableuses à marées. *Congrès de Séd. et Quat.*, pp. 95-110.
- GLANGEAUD L., MINOUX G. et RICOUR J. (1957). — Résultats stratigraphiques et hydrogéologiques du forage exécuté dans le Trias à Lure (Haute-Saône). *C.R. S.G.F.*, p. 83.
- GOGUEL J. (1953). — A propos de la mesure des galets et de la définition des indices. *Revue Géomorph. dyn.*, vol. 4, n° 3, pp. 115-118.
- GOLDSZTAUB S. (1934). — Etude de quelques dérivés de l'oxyde ferrique (FeO.OH , FeO_2Na , FeOCl); détermination de leurs structures. *Thèse Fac. Sciences*, Strasbourg.
- GRAULICH J. M. (1951). — L'emploi des courbes cumulatives dans l'étude de l'indice d'émoussé des galets. *Ann. Soc. géol. Belg.*, t. 74, pp. 155-186.
- GRAUVOGEL L. (1947). — Contribution à l'étude du grès à Voltzia. *C.R. S.G.F.*, pp. 35-37.
- GRAUVOGEL L. (1947). — Note préliminaire sur la flore du grès à Voltzia. *C.R. S.G.F.*, pp. 64-66.
- GRAUVOGEL L. (1947). — Note préliminaire sur la faune du grès à Voltzia. *C.R. S.G.F.*, pp. 90-92.
- GRAUVOGEL L. (1947). — Sur quelques types de pontes du grès à Voltzia (Trias inférieur) des Vosges. *C.R. Ac. Sc.*, t. 225, pp. 1165-1167.
- GRAUVOGEL L. (1951). — Découverte de méduses dans le grès à Voltzia des Vosges. *C.R. S.G.F.*, pp. 139-141.
- GRAUVOGEL L. (1951). — Sur des pontes de poissons du grès à Voltzia (Trias inférieur) des Vosges. *C.R. S.G.F.*, n° 9, p. 152.
- GRAUVOGEL L. (1951). — Sur un horizon à galets de dolomie fossilifère dans le grès à Voltzia (Trias inférieur des Vosges). *C.R. Ac. Sc.*, t. 232, p. 2033.
- GRAUVOGEL L. et LAURENTIAUX D. (1952). — Un Protodonate du Trias des Vosges. *Ann. de Paléontologie*, t. XXXVIII, pp. 123-129, pl. IV.
- GUETTARD et LAVOISIER (1778). — Observations sur la concession de houille de Saint-Hippolyte. *Mém. de l'Ac. des Sc.*, Paris, p. 416.
- GUILLAUME L. (1939a). — Forage profond de recherche d'eau potable à Dompierre (Vosges) et observations sur la constitution du Muschelkalk lorrain. *Bull. Soc. Sc.*, Nancy.
- GUILLAUME L. (1939b). — Observations sur la stratigraphie du Trias lorrain; forage de Saint-Clément (M. et M.). *C.R. du Premier Congrès lorrain des Soc. sav. de l'Est de la France*, 6-8 juin 1938, t. II, pp. 173-178.
- GUILLAUME L. et MINOUX G. (1954). — Deux regards nouveaux sur le substratum antétriasique à l'W des Vosges : les forages de Ravenel et de Damblain. *B.S.G.F.* (6), t. IV, n° 7-9, pp. 515-523.
- GÜMBEL C. W. VON (1894). — Geologie von Bayern. (Kassel).
- GUNZERT G. (1958). — Die einheitliche Gliederung des deutschen Buntsandsteins in der südlichen Beckenfazies. *Abhand. des Hessischen Landes amtes für Bodenforschung*. H. 24, Wiesbaden.
- HAUG E. (1907-1911). — *Traité de Géologie*, Armand Colin, Paris.
- HEIM (1806). — Geologische Beschreibung des Thüringer Waldgebirges.
- HEIM F. (1910). — Beiträge zur Kenntnis des Wellengebirges von Zweibrücken. *Geogn. Jh.*, 23, München.
- HEIM D. (1958). — Die Tonsteine im Rotliegenden des Saar-Nahe-Gebietes. *C.R. V^e Congr. Intern. de Sédimentologie, Ecl. géol. helv.*, vol. 51, n° 3.
- HEIM D. (1960). — Über die Petrographie und Genese der Tonsteine aus dem Rothliegenden des Saar-Nahe Gebietes. *Beitr. Min. Petr.*, 7, 281-317.
- HENRICH H. W. (1961). — Sedimentpetrographische Untersuchungen im Buntsandstein des Saarlandes und der angrenzenden Gebiete. *Inaugural Dissertation, Math. Naturw., Fakultät-Universität der Saarlandes*, Saarbrücken.
- HILDEBRAND E. (1929). — Die stratigraphische Stellung des Karneolhorizontes. (*Centralbl. f. Min. Geol. u. Pal.*).
- HOGARD H. (1835). — Tableau minéralogique des roches des Vosges. (Epinal). *Extr. Ann. de la Soc. d'émulation des Vosges*.
- HOGARD H. (1837). — Description minéralogique et géologique des régions granitique et arénacée du système des Vosges, avec un atlas comprenant une carte géognostique des Vosges, plusieurs vues et coupes. Librairie Valentin, Epinal.
- HOGARD H. (1841-1845). — Esquisse géologique du Val d'Ajol. 1) *Ann. Soc. ém. Vosges*, IV, 2, 351-395; 2) *Ann. Soc. ém. Vosges*, V, 3, 661-732.

- HOGARD H. (1845). — Aperçu sur la constitution minéralogique et géologique du Département des Vosges. (*Statistique générale du Département des Vosges - Carte géologique des Vosges*).
- HOGARD H. (1846). — Carte, croquis et coupes pour servir à l'explication de la constitution géologique des Vosges (Epinal).
- HOSPERS J. (1955). — Rock magnetism and polar Wandering. *Journ. Geol.*, vol. 63, pp. 59-73.
- HUMBOLD A. DE (1822-1823). — Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères.
- I.F.P. (1959). — Relations entre mode de gisement et propriétés physico-chimiques des dolomies. *Revue I.F.P.*, XIV, nos 4-5, pp. 474-518.
- ILLIES H. (1948). — Die Schrägschichtung in fluviatilen und littoralen Sedimenten. Ihre Ursachen, Messung und Auswertung. *Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg*, XIX, pp. 89-110.
- JACQUOT E. (1854). — Esquisse géologique et minéralogique de la Moselle, Metz.
- JACQUOT E., TERQUEM O. et BARRÉ O. (1868). — Description géologique et minéralogique du département de la Moselle, Paris.
- JODOT P. (1945). — Observations sur la forme des galets marins et fluviatiles. *C.R. S.G.F.*, n° 14, 19 novembre, pp. 206-208.
- JOLY F. (1953). — Quelques phénomènes d'écoulement sur la bordure du Sahara dans les confins algéro-marocains, et leurs conséquences morphologiques. *Congr. Géol. intern.*, Alger, 1952, fasc. VII, pp. 135-143.
- JUNG J. (1928). — Contribution à la géologie des Vosges hercyniennes d'Alsace. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lor.*, n° 2.
- JÜNGST H. (1938). — Paläogeographische Auswertung der Kreuzschichtung. *Geol. Meere, und Binnengewässer*, 2, pp. 229-276, Berlin.
- JURAIN G. (1956). — Sur une faille affectant le Trias inférieur et moyen dans la région de Luxeuil (Haute-Saône) et un filon de quartz dans le grès bigarré près de Bains les Bains (Vosges). *C.R. S.G.F.*, 23 avril, n° 8, p. 105.
- KAISER E. (1926). — Die Diamantwüste Südwestafrikas, Berlin.
- KOECHLIN-SCHLUMBERGER J. et DELBOS J. (1866). — Description géologique et minéralogique du département du Haut-Rhin (Colmar).
- KOLB T. (1954). — Granulométrie comparée du Permien et du Trias des régions de Rougemont-le-Château - Leval (Territoire de Belfort) et de Lauw (Haut-Rhin). *C.R. S.G.F.*, nos 1-2, pp. 29-31.
- KRAUS E. (1921). — Zur Stratigraphie und Paläogeographie des Reichsländischen Buntsandsteins. *Zeitschr. der Deutsch. Geol. Gesell.*, Bd. 73.
- KRAUS E. (1921). — Von der Westküste des Muschelsandsteinmeeres (unterer Muschelkalk von Elsass-Lothringen).
- KRAUS E. (1925). — Lothringen (aus der Reihe « Die Kriegsschauplätze, 1914-1918 geologisch dargestellt », H. 2), Berlin.
- KRAUS E. et WAGNER W. (1924). — Elsass. (aus der Reihe « Die Kriegsschauplätze, 1914-1918 geologisch dargestellt », H. 1), Berlin.
- KRUMBEIN W. C. (1939). — Preferred orientation of pebbles in sedimentary deposits. *Journ. Geol.*, vol. 7, oct.-nov., pp. 673-706.
- KRUMBEIN W. C. et PETTIJOHN F. J. (1938). — Manual of Sedimentary petrography, D. Appleton Century Company, N.-Y.
- KRUMBEIN W. C. et SLOSS L. L. (1951). — Stratigraphy and Sedimentation. *Freeman and Co.*, San Francisco.
- KRYNINE P. D. (1936). — Petrology, Stratigraphy origin of the triassic sedimentary rocks of Connecticut. *Thèse*. Yale University.
- KRYNINE P. D. (1948). — The megascopic study and field classification of sedimentary rocks. *J. Geol.*, vol. 56, n° 2, pp. 130-165.
- KUENEN Ph. H. (1959). — Sand. Its origin, transportation, abrasion and accumulation. *Geol. Soc. of South Africa, Johannesburg*, vol. LXII, Memorial, lecture n° 6.
- KUMM A. (1928). — Über die Bildungsweise der Konglomerate des Buntsandsteins. *Zeitschr. der Deutsch. Geol. Ges.*
- LACAZE J. (1960). — Etude paléomagnétique des roches volcaniques permienes de la région du Nideck. Diplôme d'ingénieur géophysicien. Strasbourg.
- LAPPARENT A. DE (1883). — *Traité de Géologie*. Savy, Paris, 1^{re} édition.
- LAPPARENT A. DE (1885). — *Traité de Géologie*. Savy, Paris, 2^e édition.
- LAPPARENT A. DE (1893). — *Traité de Géologie*. Savy, Paris, 3^e édition.
- LAPPARENT A. DE (1900). — *Traité de Géologie*. Masson, Paris, 4^e édition.
- LAPPARENT A. DE (1906). — *Traité de Géologie*. Masson, Paris, 5^e édition.

- LAPPARENT A. DE (1887). — Sur le sens des mouvements de l'écorce terrestre. *B.S.G.F.*, XV, p. 215.
- LAPPARENT A. DE (1897). — Note sur l'histoire géologique des Vosges. *B.S.G.F.*, t. XXV, pp. 6-29.
- LAPPARENT A. DE (1897). — Note sur l'histoire de la vallée du Rhin. *B.S.G.F.*, t. XXV, pp. 727-730.
- LASPEYRES H. (1867-1868). — Kreuznach und Durckheim an der Hardt. *Z. d. deut. geol. Gesell.*, XIX, pp. 803-922 et XX, pp. 153-201.
- LEITH C. J. (1950). — Removal of iron oxide coating from mineral grains. *Journ. Sed. Pet.*, vol. 20, n° 3.
- LEPPLA A. (1888). — Über den Buntsandstein im Haardtgebirge (Nordvogesen). *Geognostische Jahreshefte*, Band 1, Kassel, 1888.
- LEPPLA A. (1924). — Zur Stratigraphie und Tektonik der südlichen Rheinprovinz. *Jahr. Preuss. Geol. L.A.*
- LEPSIUS R. (1875). — Über den bunten Sandstein in den Vogesen seine Zusammensetzung und Lagerung. *Zeitschrift der deutschen geol. Ges.*, Band XXVII, pp. 83-103.
- LEVALLOIS J. (1851). — Aperçu de la constitution géologique du département de la Meurthe (note à l'appui de la carte géologique de ce département exécutée d'après la carte du dépôt de la guerre). *Extrait des Annales des Mines*, 4^e série, t. XIX, p. 635.
- LEVALLOIS J. (1856). — Aperçu de la constitution géologique du département de la Meurthe (note à l'appui de la carte géologique de ce département exécutée d'après la carte du dépôt de la guerre). Nancy, *Extrait des Annales des Mines*, 4^e série, t. XIX, p. 635.
- LEVALLOIS J. (1862). — Aperçu de la constitution géologique du département de la Meurthe. *Mém. Ac.*, Stanislas.
- LIENHARDT G. (1961). — Causes et genèse des colorations rouges et vertes du Saxonien et du Trias de la région de Lons-le-Saunier (Jura). *Colloque « Trias »*, Montpellier.
- LIETARD A. (1888). — Note sur le Trias dans la région méridionale des Vosges. *Bull. Soc. Sc.*, Nancy, pp. 44-68.
- LIGUS (1955). — Etudes de morphologie dynamique sur le Var inférieur. *Géol. Rundschau*, XLIII, pp. 371-383.
- LIGUS (1958). — Méthode améliorée pour l'étude des sables. *Rev. Géomorph. dynam.*, IX, n° 3-4, pp. 43-54.
- LOMBARD A. (1956). — Géologie sédimentaire. Les séries marines. Masson, éd., Paris, 1 vol, in-4°.
- LOUIS L. (1877). — Le département des Vosges. *Géographie physique*, Epinal.
- MARCHAL C. (1961). — Contribution à l'étude géologique de la région de Bayon. Etude stratigraphique, pétrographique, paléontologique et tectonique de la feuille au 1/20 000 de Bayon. XXXIV-16-coupure 8. *C.E.S. Sciences*, Nancy.
- MARGERIE E. (DE) (1918). — Enquête sur les richesses minérales du NE de la France. *Travaux du Comité d'Etudes*, section géologique.
- MATSCHINSKI M. (1959). — Les indices caractérisant la forme des grains du sable, des galets, de différentes roches détritiques, etc... *C.R. S.G.F.*, 5 janvier, p. 7.
- MAUBEUGE P. L. (1959). — Contribution à la paléogéographie des grès à Voltzia dans l'Est du Bassin de Paris. *Bull. Soc. Sc.*, Nancy, pp. 70-122.
- MAUBEUGE P. L. (1960). — Quelques remarques sur la constitution géologique profonde du Bassin de Paris (terrains triasiques). *C.R. S.G.F.*, (1), pp. 7-8.
- MAUBEUGE P. L. (1960). — Les données actuelles sur la constitution géologique profonde du bassin de Paris. *C.R. Ac. Sc.*, n° 5, pp. 878-880, 1 carte hors-texte.
- MÉRIAN P. (1820). — Geognostische Wanderungen durch die übergheinische Pfalz. *Leonh. Jahrb.*, XIV, p. 315.
- MÉRIAN P. (1822). — Über die gliederung der gebirgsschichten in der Pfalz und in den Vogesen. *Leonh. Jahrb.*, XVI, p. 611.
- MEYER (H. VON) (1836). — Recherches sur les ossements fossiles du grès bigarré de Soultz-les-Bains (Bas-Rhin). *Mém. Soc. Hist. Nat.*, Strasbourg, t. 2, 3^e livre.
- MIHARA S. (1935). — Etude géologique et pétrographique de la région du Nideck. *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, n° 4, pp. 99-124.
- MILLOT G. (1945). — Le Permien à l'Ouest et au Nord du Donon dans les Vosges Septentrionales. *C.R. S.G.F.*, pp. 198-200.
- MILLOT G. (1961). — Silice, silex, silicification et croissance des cristaux. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*
- MILLOT G., RADIER H., MULLER-FEUGA R., DEFOSSEZ M. et WEY R. (1959). — Sur la géochimie de la silice et les silicifications sahariennes. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, t. 12, fasc. 2.
- MILNER H. B. (1940). — Sedimentary petrography. 3^e édition, Londres.

- MINOUX G. (1958). — Nouvelles observations sur la couverture triasique et son substratum dans la région occidentale des Vosges. Les forages de Vittel, Contrexeville et Lamarche. Résultats de la campagne de recherche hydrogéologique, 1954-1958. *B.S.G.F.*, (6), t. VIII, n° 3, pp. 213-236.
- MONNET (1780). — Atlas minéralogique de la France.
- MOUGEOT Dr. (1852). — Essai d'une flore du nouveau grès rouge des Vosges, suivie d'une description des végétaux silicifiés qu'on y rencontre.
- MÜLLER E. M. (1952). — Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des oberen Buntsandsteins im Saar-Lothringischen Raum. *Thèse Univ. Sarre*, Sarrebruck, 27 juin.
- MÜLLER E. M. (1954). — Die Ausbildung und Mächtigkeit der Zwischenschichten im Saar-Lothringischen Raum. *Ann. Univ. Sar.*, III, 1-2, pp. 68-74.
- MÜLLER E. M. (1954). — Beiträge zur Kenntnis der Stratigraphie und Paläogeographie des oberen Buntsandsteins im Saar-Lothringischen Raum. *Ann. Univ. Sar.* III, 3, pp. 176-201.
- MÜLLER E. M. (1958). — Stratigraphie und Paläogeographie des oberen Buntsandsteins im Saar-Lothringischen Raum. *Zeit. d. Deut. Geol. Ges.*, B. 110, 3, Teil, pp. 620-622.
- MÜLLER E. M. et SCHRÖDER E. (1960). — Zur Gliederung und Alterstellung des linksrheinischen Buntsandsteins. *Notizblatt des Hess. Landesamtes f. Bodenforsch. zu Wiesbaden*. Bd. 88, pp. 246-265.
- MÜLLER-FEUGA R. (1954). — Contribution à l'étude de la géologie, de la pétrographie et des ressources hydrauliques et minérales du Fezzan. *Thèse, Ann. des Mines et de la Géol.*, n° 12, Tunis.
- MUNIER-CHALMAS (1897). — Observations sur le dôme des Vosges. *C.R. Soc. Géol. Fr.*, p. 28.
- NAGATA T. (1953). — Rock magnetism (Tokyo).
- NAIRN A. E. M. (1957). — Observations paléomagnétiques en France : Roches permienues. *B.S.G.F.*, 6, t. VII, pp. 721-727.
- NAIRN A. E. M. (1960). — Paleomagnetic results from Europe. *Journ. of Geol.*, vol. 68, n° 3, pp. 285-306.
- NEEL L. (1949). — Théorie du trainage magnétique des ferromagnétiques en grains fins avec application aux terres cuites. *Ann. de Géophysique*, t. 5, pp. 99-136.
- NEEL L. (1951). — L'inversion de l'aimantation permanente des roches. *Ann. Géophys.*, t. 7, p. 90.
- NICOLAS A. (1960). — Etude pétrographique de la région de Raon l'Etape - Senones (Vosges). Thèse 3^e Cycle. *Géologie Fac. Sc. Paris*.
- NOEL E. (1885). — Sur la faune des galets du Grès vosgien. *Bull. Soc. Sc.*
- NOEL E. (1904). — Sur la faune des lydiennes du Grès vosgien. *C.R. Ac. Sc.*, 13 juin.
- NOEL E. (1905). — Note sur l'orientation des galets dans un courant et la direction des courants en quelques points du Grès vosgien. *Bull. Soc. Sci.*, Nancy.
- NOEL E. (1905). — Sur l'orientation que prend un corps allongé pouvant rouler sur les fonds dans un courant liquide. *C.R. Ac. Sc.*, 4 déc.
- NOEL E. (1905). — Note sur la faune des galets du Grès vosgien. *Bull. Soc. Sc.*, Nancy, sér. III, VI, n° 3, pp. 46-73.
- NOEL E. (1907). — Note sur l'usure des corps ronds et en particulier des galets. *Bull. Soc. Sc. de Nancy*.
- NOEL E. (1907). — Esquisse de la structure du géanticlinal vosgien et du géosynclinal lorrain. Nancy, *Bull. Soc. Sc.*, 1907.
- NOEL E. (1907). — Note sur la détermination du courant qui a amené les éléments d'un conglomérat. *Bull. Soc. Sc.*, Nancy.
- OEYNSHAUSEN VON, DECHEN VON et LA ROCHE VON (1825). — Geognostische Umriss der Rheinländer zwischen Basel und Mainz. Essen.
- PÉGUY Ch. (1954). — A propos de la mesure des galets. *Rev. Géomorph. dyn.*, 1, pp. 28-30.
- PERRIAUX J. (1961). — Etude de la série permo-triasique de la feuille de Bruyères au 1/50 000. *C.R. Coll. Serv. Carte géol. France*.
- PERRIAUX J., MILLOT G. et LUCAS G. (1961). — Interprétation de la couleur rouge des grès du Permo-triasique des Vosges. *Bull. Serv. Carte géol. d'Als. Lor.*
- PERRIAUX J. et MÜLLER E. (1961). — Quelques directions de courant, dans le Buntsandstein de la Sarre et de la Lorraine. *C.R. S.G.F.*
- PETTIJOHN F. J. (1949). — Sedimentary rocks. Harper, N.-Y.
- PETTIJOHN F. J. (1954). — Classification of Sandstones. *J. Geol.*, vol. 62, n° 4, pp. 344-359.
- PIMENTA J. (1958). — Les Deltas intermittents (existence d'un paléodelta de l'Amazonie). *C.R. du V^e Congrès int. de Sédimentologie*, Genève, Lausanne. *Ecl. Geol. Hel.*, vol. 51, n° 3.
- PLATZ (1872). — Geologie des Rheinthal. *Verhandl. naturw. Ver. Karlsruhe*.

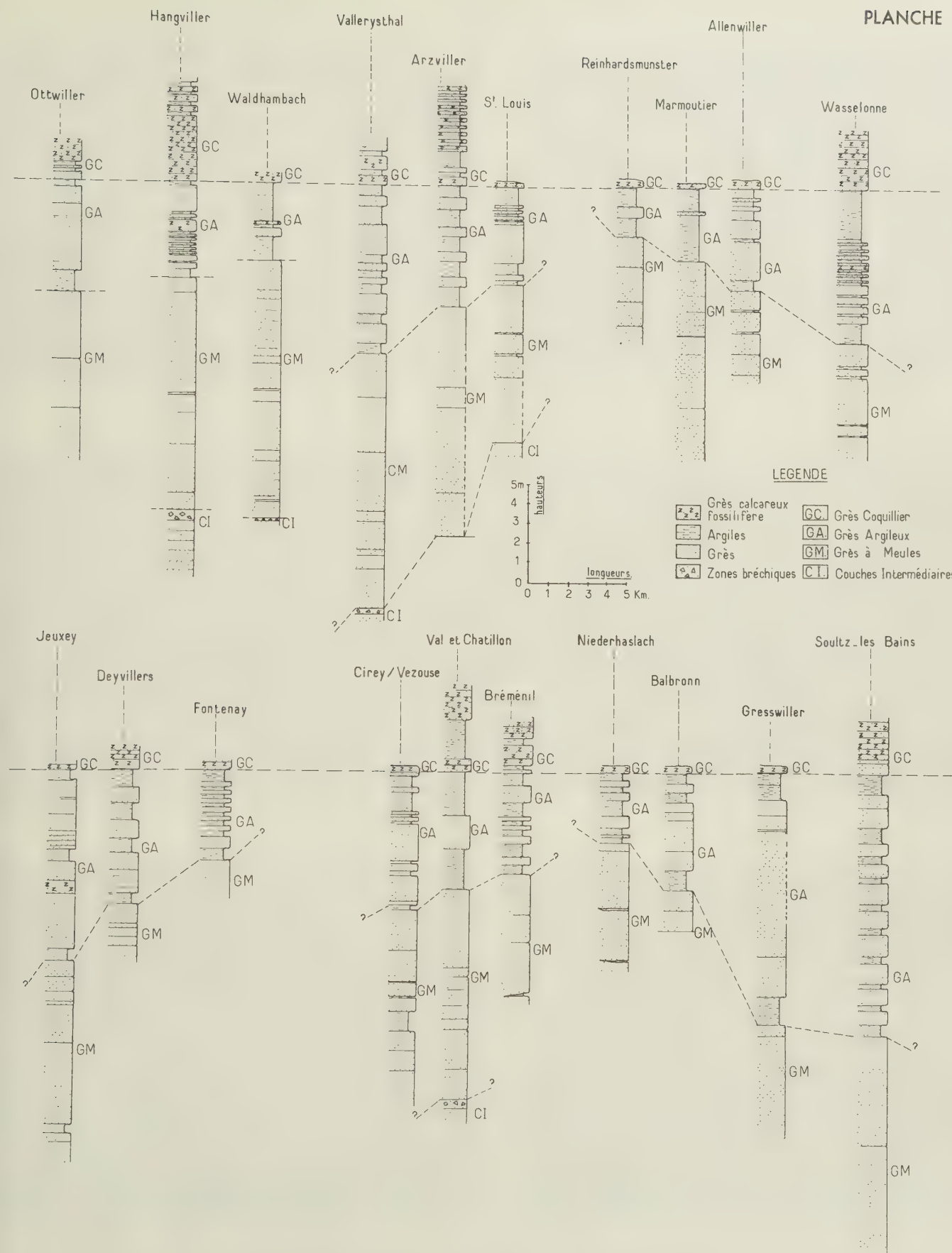
- PUTON (1834). — Notice sur une plaque frontale de Saurien trouvée dans les grès bigarrés de Ruau, arrondissement de Remiremont (Vosges). *B.S.G.F.* (6), pp. 17-19.
- PRUVOST P. (1930). — Sédimentation et subsidence. *Livre Jubilaire Soc. géol. Fr.*, p. 545.
- RADIER H. (1957). — 1° Le Précambrien Saharien du Sud de l'Adrar des Iforas. 2° Le Bassin crétacé et tertiaire de Gao. Contribution à l'étude géologique du Soudan oriental. *Thèse Sciences*, Strasbourg.
- RAYMOND P. (1927). — The significance of red colours in sediments. *American Journ. of Sc.*, (5), 13, n° 75.
- REIS O. M. et AMMON L. VON (1903). — Erläuterungen zu Blatt Zweibrücken der geognostischen Karte 1/100 000 des Königreiches Bayern. (München).
- RENEVIER E. (1874). — Tableau des terrains sédimentaires. *Bull. Soc. Vaudoise Sc. Nat.*, vol. 12, n° 70-71-72.
- RENOUARD G. (1935). — Sur le Stéphaniens supérieur et le Permien du Bassin de Villé en Alsace. *C.R. Ac. Sc.*, vol. 200, 4 mars, p. 844.
- RENOUARD G. (1936). — Observation sur la stratigraphie et la flore des couches stéphaniennes et permienues du bassin de Villé. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, pp. 1-11.
- RÉUNION EXTRAORDINAIRE A STRASBOURG DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE DU 6 AU 14 SEPTEMBRE 1834. — *B.S.G.F.*, 1^{ère} série, VI.
- RÉUNION EXTRAORDINAIRE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE EN ALSACE (1925). — *C.R. S.G.F.*, n° 13, pp. 180-196.
- REUSS (1805). — Der Mineralogie; Theil II : Geognosie.
- RICHARD E. (1837). — Aperçu géognostique sur les environs de Moirsey (département du Jura). *B.S.G.F.*, (1), VIII, p. 149.
- RICHTER BERNBURG G. (1950). — Zur Frage der absoluten Geschwindigkeit geologischer Vorgänge. *Naturw.*, 37 Jahrg., H. 1, pp. 1-8, Berlin.
- RICOUR J. (1954). — A propos des « Grès d'Annweiler » (Permo-Trias de Lorraine). *C.R. S.G.F.*, 20 déc., pp. 401-402.
- RICOUR J. (1956). — Lexique stratigraphique international. Vol. 1, Europe, fasc. 4a : France, Belgique, Pays-Bas, Luxembourg, fasc. 4a, III, Trias.
- RICOUR J. (1957). — Le Trias de la plaine d'Alsace à la lumière de sondages profonds (Note préliminaire). *C.R. S.G.F.*, (12), 17 juin, p. 232.
- RICOUR J. (1959). — Stratigraphie du Trias du Bassin de Paris. *B.S.G.F.*, (7), 1, pp. 3-11.
- RICOUR J. (1959). — Enseignements tirés de l'étude stratigraphique et paléogéographique du bassin de Paris à l'époque triasique. *Ann. de la Soc. géol. du Nord*, t. LXXIX, 4mars, pp. 18-23.
- RICOUR J. (1960). — Précisions sur le Trias du Bassin de Paris. *C.R. Ac. Sc.*, 30 mai, t. 250, p. 3683.
- RICOUR J. (1960). — Contribution à une révision du Trias français. *Thèse Fac. Sc.*, Paris.
- RICOUR J. et MAUTORT J. DE (1960). — Microfacies caractéristiques du Trias lorrain. *B.S.G.F.*, (7), II, 2, pp. 200-207.
- RIVIÈRE A. (1937). — L'interprétation granulométrique des sédiments sableux et les grandes lignes de leur évolution dans les différents milieux géologiques. *C.R. Ac. Sc.*, t. 204, p. 703.
- ROBAUX A. (1938). — Le sondage de Moncel-les-Lunéville. *Bull. Soc. Sc.*, Nancy, n° 4-5, pp. 106-109.
- ROBB G. L. (1949). — Red bed coloration. *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 19, pp. 99-103.
- ROCHE A. (1950). — Sur les caractères magnétiques du système éruptif de Gergovie. *C.R. Ac. Sc.*, t. 230, pp. 113-115.
- ROCHE A. (1950). — Anomalies magnétiques accompagnant les massifs de pépérités de la limagne d'Auvergne. *C.R. Ac. Sc.*, t. 230, pp. 1603-1604.
- ROCHE A. (1951). — Sur les inversions de l'aimantation rémanente des roches volcaniques dans les monts d'Auvergne. *C.R. Ac. Sc.*, t. 233, pp. 1132-1134.
- ROCHE A. (1957). — Sur l'aimantation des roches volcaniques de l'Estérel. *C.R. Ac. Sc.*, t. 244, pp. 2952-2954.
- ROCHE A. (1958). — Sur les variations de direction du champ magnétique terrestre au cours du Quaternaire. *C.R. Ac. Sc.*, t. 246, pp. 3364-3366.
- ROCHE A. (1959). — Paléomagnétisme, déplacement des pôles et dérives des continents. *Rev. Industrie Minérale, Saint-Etienne*, vol. 41, n° 7.
- ROCHE (1960). — Sur l'aimantation de laves miocènes d'Auvergne. *C.R. Ac. Sc.*, t. 250, pp. 377-379.
- ROUBAULT M., MATHIEU G. et MILLOT G. (1950). — Lorraine et Vosges septentrionales. *Livret - guide excursion géologique interuniversitaire*, Nancy, 47 p.
- ROUGERIE G. (1957). — Valeurs des observations qualitatives en analyses morphoscopiques. *Bull. Ass. Géogr. Fr.*, n° 265-266, pp. 63-67.

- ROYER E. et BAROTTE J. (1865). — Notice explicative de la carte géologique du département de la Haute-Marne. Paris.
- ROZET (1834). — Sur les terrains anciens de la chaîne des Vosges. *B.S.G.F.*, 1^{ère} série, IV, pp. 129-144.
- ROZET (1834). — Description géologique de la partie méridionale de la chaîne des Vosges. Paris.
- ROZET (1837). — Sur la « Description du système des Vosges ». *B.S.G.F.*, 1^{ère} série, VIII, p. 185.
- RÜCKLIN H. F. (1934). — Die Diluvialstratigraphie der mittleren Saar. Bonn.
- RÜCKLIN H. (1934). — Über Wurmsspuren im Voltziensandstein des Nordsaargebiets *Bad. Geol. Abh.*, VI, H. 2, S. 401-403.
- RÜCKLIN H. (1936). — Die Tierfährten im Oberen Voltziensandstein von Sankt-Barbara (Nordsaargebiet). *Verh. d. Naturhist. Ver. d. Rheinl. u. Westf.*, Bd. 93, S. 187-207.
- RÜCKLIN H. (1937). — Neue Lebenspuren aus dem oberen Voltziensandstein und dem unteren Muschelkalk des Saarlands. *Bad. Geol. Abh.*, 9, S. 31-51.
- RÜCKLIN H. (1953). — Die Grenzsichten Buntsandstein/Muschelkalk im Saarland; ein fossiles Watt. *J. Ber. u. Mitt. Oberrh. Geol. Ver. N.F.*, 35, Bd. XXXV (1954).
- RUNCORN S. K. (1955). — Rock magnetism - Geophysical Aspects. *Philosophical Magazine*, suppl., vol. 4, pp. 244-291.
- RUNCORN S. K. (1956). — Paleomagnetic comparisons between Europe and North-America. *Proc. Geol. Assoc., Canada*, vol. 8, pp. 77-85.
- RUTTEN M. G., EVERDINGEN R.O. VAN AND ZIJDERFELD U.D.A. (1957). — Palaeomagnetism in the Permian of the Oslo Graben (Norway) and of the Esterel (France). *Geol. en Minj.*, vol. 19, pp. 193-195.
- SANDBERGER (1864). — Erläuterungen der Geol. Karte der Umgebung von Karlsruhe. *Verhandl. Naturwiss. Ver.*, Karlsruhe.
- SCHAD A. (1934). — Stratigraphische Untersuchungen im Wellengebirge der Pfalz und des östlichen Saargebietes. *Abh. der Geol. Landesuntersuchung am Bayerischen Oberbergamt*. Heft 14.
- SCHAD A. (1934). — Statigraphische Untersuchungen im Wellengebirge und dem unteren Muschelkalk des Saarlandes. *Bad. Geol. Abh.*, Jg IX.
- SCHILTZ P. (1953). — Les réactions auxquelles le fer est soumis dans les roches, les eaux et les sédiments avant de former des lits ferrugineux. *Arch. Inst. Gd. Ducal*, Luxembourg, vol. 20, pp. 187-212.
- SCHIMPER W. P. (1850). — Paläontologia alsatica. *Mém. Soc. Hist. Nat.*, Strasbourg, t. IV, fasc. 1.
- SCHIMPER W. P. (1853). — Paléontologia alsatica ou fragments paléontologiques des terrains stratifiés qui se rencontrent en Alsace. *Mém. Soc. Hist. Nat.*, Strasbourg, t. IV, fasc. 2 et 3.
- SCHIMPER W. P., MOUGEOT A. (1844). — Monographie des plantes fossiles du grès bigarré de la chaîne des Vosges. Leipzig.
- SCHLOTHEIM (1813). — Beiträge zur Naturgeschichte der Versteinerungen in geognostischer Hinsicht.
- SCHLOTHEIM (1820-1822-1823). — Die Petrefaktenkunde auf ihrem jetzigen Standpunkte 1820 mit 2 Nachträgen (1822-1823).
- SCHMIDT M. (1928). — Die Lebewelt unserer Trias. *Oehringen*, vol. 461, p. 1220, fig.
- SCHNOEBELÉ E. (1923). — Affleurement montrant le contact du Grès vosgien et du Dévonien. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, I, pp. 127-130.
- SCHUMACHER E. (1889). — Zur Kenntnis des unteren Muschelkalks im nordöstlichen Deutsch-Lothringen. *Mitt. d. Comm. d. Geol. Landesamt. v. Els. Lothr.*, 2, Strassburg, pp. 111 à 183.
- SCHUMACHER E. (1887). — Erläuterungen zu Blatt Gelmingen.
- SCHUMACHER E. (1891). — Erläuterungen zu Blatt Wolmünster.
- SCHUMACHER E. (1897). — Erläuterungen zu Blatt Falkenberg.
- SCHUMACHER E. (1898). — Erläuterungen zu Blatt Lützelstein.
- SCHUMACHER E. (1902). — Erläuterungen zu Blatt Pfalzburg, der *Geol. Spezialkarte von Els. Lothr.*
- SELZER G. (1958). — Das postsaalische Relief im Saarland. *Zeitschr. der Deut. Geol. Ges.*, Bd. 110, 3. Teil, p. 620.
- SHROCK R. R. (1948). — Sequence in layered rocks : a study of features and structures useful for determining top and bottom or Order of succession in bedded and tabular rock bodies. *Mc Graw Hill Book company. Inc.* (N.-Y., Toronto, London).
- SIMON V. (1831). — Itinéraires géologiques et minéralogiques dans les départements de la Moselle, du Haut-Rhin, du Bas-Rhin, des Vosges, de la Meurthe et des contrées voisines. *Mém. Ac.*, Metz, t. XIII, p. 133.
- SINDOWSKI K. H. (1958). — Schüttungsrichtungen und Mineralprovinzen im west-deutschen Buntsandstein. *Geol. Jahrb.*, Hannover, Bd. 73, pp. 277 (294).

- SIVRY DE (1782). — Journal des observations minéralogiques faites dans une partie des Vosges et de l'Alsace, Nancy.
- STAESCHE K. (1927). — Der Buntsandstein des Saarlandes. Festschr. 55, Tgg. Oberrhein, Geol. Ver., Saarbrücken.
- STEINMANN (1887). — Zur Entstehung des Schwarzwaldes. Freiburg im Brisgau.
- STRAKHOV N. M. (1958). — Faits et hypothèses concernant la genèse des roches dolomitiques. *Akad. Nauk., C.C.C.P., série Géol.*, n° 6, pp. 3-22.
- STRAKHOV N. M. (1958). — Méthodes d'études des roches sédimentaires, t. 1, Moscou. (Trad. franç. par Piétrisson de Saint-Aubin. A. Vatan, *Ann. Serv. Int. géol. B.R.G.G.M.*, n° 35.
- STRIGEL A. (1929). — Das Süddeutsche Buntsandsteinbecken. *Verhandl. des Naturhist. Medizin Vereins. Heidelberg*. N.F., Bd. XVI.
- TCHIMICHKIAN G., REULET J. et VATAN A. (1958). — Etude pétrographique des matériaux molassiques de quelques sondages profonds de Bresse. *C.R. V^e Congr. int. géol., Ecl. Geol. Helv.*, vol. 51, n° 3, pp. 1093-1114.
- THELLIER E. (1936). — Aimantation des briques et inclinaison du champ magnétique terrestre. *Ann. Inst. Phys. Globe*, t. XIV, pp. 65-70.
- THELLIER E. (1936). — Détermination de la direction de l'aimantation permanente des roches. *C.R. Ac. Sc.*, t. 203, p. 743.
- THELLIER E. (1937). — Sur la disparition de l'aimantation permanente des terres cuites par réchauffement en champ magnétique nul. *C.R. Ac. Sc.*, t. 205, p. 334.
- THELLIER E. (1938). — Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques. *Ann. Inst. Phys. du Globe*, t. 16, pp. 157-302.
- THEOBALD N. (1950). — Observations sur la feuille 1/50 000 de Forbach (XXXVI-12). *C.R. Coll. Serv. C.G.F.*, 231, pp. 23-55.
- THEOBALD N. (1950). — Carte structurale de la région de Forbach, Sarreguemines, Deux-Ponts. *C.R. Ac. Sc.*, 27 nov., t. 231, pp. 1251-1252.
- THEOBALD N. (1950). — Observations nouvelles sur la tectonique de la région de Forbach, Sarreguemines, Deux-Ponts. *C.R. Ac. Sc.*, 6 déc., t. 231, pp. 1324-1326.
- THEOBALD N. (1951). — Stratigraphie et Paléogéographie du Buntsandstein dans le SW de l'Allemagne et le NE de la France. *Bull. Soc. d'Hist. nat. de la Moselle*, 3^e série, t. XII, 36^e cahier, Metz, pp. 1-19.
- THEOBALD N. (1951). — Observations nouvelles sur l'âge relatif et la nature des accidents tectoniques du champ de fracture de Guebwiller. *C.R. Ac. Sc.*, t. 232, pp. 1766-1768.
- THEOBALD N. (1952). — Structure du champ de fractures de Guebwiller. *C.R. Coll. S.C.G.F.*, n° 237, pp. 23-53.
- THEOBALD N. (1952). — Aperçu géologique du territoire de la Sarre. *Publ. Univ.*, Sarre.
- THEOBALD N. (1952). — Histoire géologique de la bordure septentrionale de l'Est du Bassin Parisien. *Ann. Univ. Sarre, Sciences*, I, pp. 33 à 69.
- THEOBALD N. (1952). — Comparaison entre la tectonique rhénane du massif primaire et des champs de fracture des Vosges. *C.R. de la 19^e session du Congr. géol. intern. à Alger*, fasc. XIV, pp. 211-222.
- THEOBALD N. (1952). — Observations sur la feuille de Boulay au 50 000^e. *C.R. des Coll., S.C.G.F.*, n° 237, t. L, pp. 3-21.
- THEOBALD N. (1952). — Structure géologique du champ de fracture du Linge. *Ann. Univ. Sar.*, pp. 281-293.
- THEOBALD N. (1952). — Tectonique du champ de fracture du Linge. *C.R. S.G.F.*, n° 15, 15 déc., p. 350.
- THEOBALD N. (1953). — Le Massif du Mont Sainte-Odile et ses environs. *Ann. Univ. Sar.*, 11, pp. 3-38.
- THEOBALD N. (1957). — Structure géologique du champ de fractures de Vieux-Thann. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lor.*, t. 10, fasc. 2, pp. 119-131.
- THEOBALD N. (1957). — Données nouvelles sur la structure géologique du champ de fractures de Vieux Thann. *C.R. S.G.F.*, n° 10, 13 mai, p. 184.
- THEOBALD N. (1958). — Observations stratigraphiques sur la feuille de Belfort au 50 000^e. *C.R. Coll. S.C.G.F.*, n° 255, t. LVI, pp. 115-135.
- THEOBALD N. (1958). — Un nouvel affleurement de roches cristallines sur la feuille de Langres. *C.R. S.G.F.*, 19 mai, pp. 207-208.
- THEOBALD N. et BRITZ K. (1951). — La surface infratriasique dans le domaine du bassin houiller sarro-lorrain. *C.R. Ac. Sc.*, t. 233, pp. 421-423.

- THEODOROVITCH G. I. (1958). — Sur la genèse de la dolomie sédimentaire. *C.R. V^e Congr. Intern. de Sédimentologie*, vol. 51, n° 3, pp. 767-774.
- THIEBAUT L. (1952). — Recherche et étude économique des gîtes métallifères. 2^e édit., Ch. Béranger, Paris.
- THIRIA E. (1833). — Statistique minéralogique et géologique du département de la Haute-Saône. Besançon.
- TONNARD V. (1954). — Présentation et application de l'indice de périmétrie. *C.R. 5^e Congr. intern. de Sédim. Eclos. géol. helv.*, 51, n° 3.
- TRICART J. (1949). — La partie orientale du Bassin de Paris. *Thèse, S.E.D.E.S.*, Paris, 3 tomes.
- TRICART J. (1951). — Comment déterminer le sens de l'écoulement fluvial d'après une nappe alluviale. *Rev. de Géomorph. dyn.*, II (3), pp. 128-134.
- TRICART J. (1953). — L'étude tectonique des formations détritiques grossières. *Rev. Géomorph. dyn.*, IV, (6), pp. 282-295.
- TRICART J. (1957). — Observations sur la genèse des nappes de cailloutis fluviaux. *B.S.G.F.*, (6), VII, pp. 1189-1203.
- TRICART J. (1957). — Etudes sur quelques cailloutis fluviaux actuels des Pyrénées Orientales et du Massif Central. *C.R. S.G.F.*, 16-XII, n° 16, p. 374.
- TRICART J. (1958). — Données pour l'utilisation paléogéographique des cailloutis. *C.R. V^e Congr. int. Sédim. Ecl. Géol. helv.*, n° 51-3.
- TRICART J. et CAILLEUX A. (1953). — Détermination du centile en granulométrie. *B.S.G.F.*, 6^e série, t. 3.
- TRICART J. et SCHAEFFER R. (1950). — L'indice d'éroulé des galets moyens et étude des systèmes d'érosion. *Rev. de Géomorph. dyn.*, 1^{re} année, n° 4, pp. 151-178.
- TUYL VAN E. M. (1916). — The origin of dolomite. *Iowa geol. Survey. Ann. Rept.* (for 1914) 25, pp. 251-422.
- TWENHOFEL W. H. (1932). — Treatise of Sedimentation. 2^e éd. *The William and Wilkins Company*. Baltimore, U.S.A.
- TWENHOFEL W. H. (1950). — Principles of Sedimentation. 2^e éd. *Mc. Graw Hill Book Co.*, N.-Y., Toronto, London.
- VATAN A. (1954). — Pétrographie sédimentaire (avec la colla. de C. Fondeur et P.E. Rouge), Paris, *Ed. Technip*, 1 vol., in-8°.
- VELAIN Ch. (1885). — Le Permien dans la région des Vosges. *C.R. Ac. Sc.*, 25 mai.
- VELAIN Ch. (1885). — Le Permien de la région des Vosges. *B.S.G.F.*, 3, XIII, pp. 536-564.
- VELAIN Ch. (1894). — F. de Lunéville. *C.R. Coll. S.C.G.F.*, VI, pp. 140-144.
- VELAIN (1895). — F. de Lure, *C.R. Coll. S.C.G.F.*, VII, pp. 153-156; F. de Strasbourg, *C.R. Coll. S.C.G.F.*, VII, pp. 156-160.
- VOLLRATH P. (1928). — Zur vergleichenden Stratigraphie der Buntsandstein-Muschelkalk-grenzschieben zwischen Nordschwarzwald, Mosbach und Saargebiet. *Jahreshefte und Mitt. d. Oberrh. Geol. Ver. N.F.*, 17, Stuttgart.
- VOLTZ L. (1823). — Notice géognostique sur les environs de Vic. *Ann. Min.*, (1), VIII, pp. 229-256.
- VOLTZ L. (1823). — Über Vogesensandstein; *Brief an Leonhardt, in Mineralogischem Taschenbuch*, p. 227.
- VOLTZ L. (1828). — Aperçu de la topographie minéralogique de l'Alsace. Heitz, Strasbourg.
- VOLTZ L. (1833). — Carte géologique du département du Haut-Rhin (Mulhouse). Statistique générale du département du Haut-Rhin (Mulhouse).
- VOLTZ L. (1836). — Notice sur le grès bigarré de la grande carrière de Soultz-les-Bains. *Mém. de la Soc. du Muséum d'Hist. nat. de Strasbourg*, t. II, 2.
- WALTER W. (1951). — Nouvelles recherches sur l'influence des facteurs physiques sur la morphologie des sables éoliens et des dunes. *Rev. Géom. dyn.*, vol. 2, n° 6, pp. 242-258.
- WALTHER J. (1900). — Das Gesetz der Wüstenbildung. Berlin.
- WEISS E. (1864). — Über Voltzia und andere Pflanzen des bunten Sandsteins zwischen der unteren Saar und dem Rhein. *Neues Jahrb. f. Min. Geol. u. Pal.*
- WEISS E. (1869). — Ueber die Gliederung der Trias in der Umgebung von Saarbrücken. *Neues Jahrbuch für Min. Geol. u. Pal.*, pp. 215-219.
- WEISS E. (1869). — Die Entwicklung des Muschelkalks an der Saar, Mosel und im Luxemburgischen. *Zeits. deutsch. Geol. Ges.*, 21, Berlin, pp. 837-849.
- WEISS E. (1875). — Erläuterungen zu Blatt Dudweiler.
- WEISS E. (1875). — Erläuterungen zu Blatt Gross-Emmersdorf.
- WEISS E. (1875). — Erläuterungen zu Blatt Hanweiler.
- WEISS E. (1875). — Erläuterungen zu Blatt Saarbrücken.

- WEISS E. (1875). — Erläuterungen zu Blatt Saarlouis.
- WERVEKE L. VAN (1888). — Geognostische Untersuchung der Umgegend von Rappoltsweiler mit Rücksicht auf die Wasserversorgung der Stadt. *Mitt. d. Geol. Land. v. Els. Lothr.*, pp. 180-195.
- WERVEKE L. VAN (1889). — Erläuterungen zu Blatt Busendorf.
- WERVEKE L. VAN (1889). — Erläuterungen zu Blatt Buschweiler.
- WERVEKE L. VAN (1890). — Erläuterungen zu Blatt Forbach.
- WERVEKE L. VAN (1895). — Erläuterungen zu Blatt Saargemünd, der Geol. Spezialkarte v. Els. Lothr.
- WERVEKE L. VAN (1897). — Überblick über den geologischen Bau der Umgegend von Rappoltsweiler. *Mitt. d. Phil. Ges. in Els. Lothr.*, 5 Jahrg., H. I.
- WERVEKE L. VAN (1897). — Die Entstehung des Rheinthales. *Soc. Phil. d'Al. Lorr.*, 2° cahier.
- WERVEKE (1906). — Erläuterungen zu dem Blatt Saarbrücken, Strasbourg.
- WERVEKE L. (1906). — Aperçu sur la constitution et l'histoire géologique des Vosges. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, XXXIV, pp. 247-264, pl. XIX et XX.
- WILSER J. L. (1914). — Die Rheintalflexur nordöstlich von Basel zwischen Lörrach und Kandern und ihr Hinterland. *Diss. Freiburg*, Heidelberg.
- YAPAUDJIAN L. (1961). — Essai de caractérisation des sédiments permians et triasiques dans le Bassin de Paris. *Coll. Trias*, Montpellier, mars.
- ZEILLER R. (1894). — Notes sur la flore des couches permienes de Triembach (Alsace). *B.S.G.F.*, (3), XXII, pp. 163-182, pl. VIII-IX.



Grès à Voltzia : Coupes séries distribuées géographiquement

PLANCHE III

- A. — Bleurville (Vosges) — Carrières de Grès à Voltzia.
- B. — Bleurville (près Darney - Vosges) — Rochers du Mulet. Stratification oblique et érosion alvéolaire dans les grès des Couches intermédiaires inférieures (cf. p. 68).
- C. — Bru (près Rambervillers - Vosges) — Couches intermédiaires supérieures. Cours d'eau recoupé par le front de taille (cf. p. 73).
- D. — Niederbronn (Bas-Rhin) — Grès vosgien inférieur : passage diffus de la coloration rouge à la coloration blanche (cf. pp. 29 et 187).
- E. — Niederbronn (Bas-Rhin) — Grès vosgien inférieur : séparation tranchée entre la coloration rouge et la coloration blanche (cf. pp. 29 et 187).



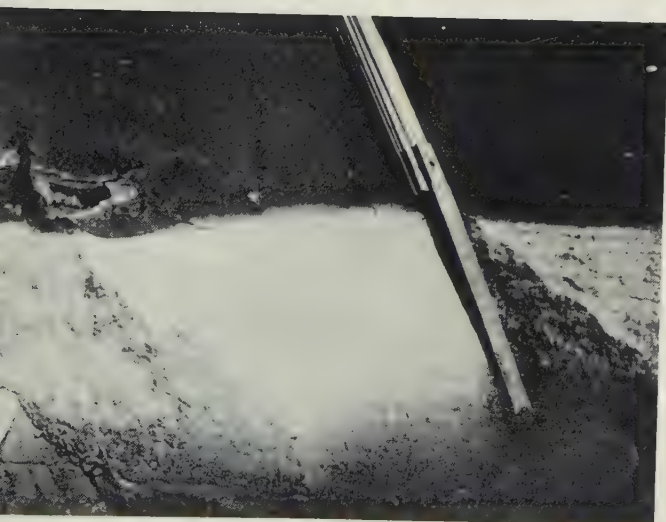
A



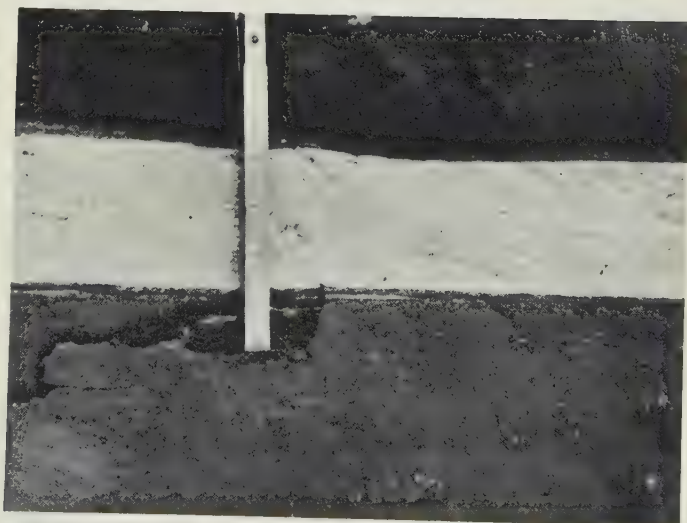
B



C



D



E

PLANCHE IV

- A. — Autrey (S de Rambervillers - Vosges) — Conglomérat principal.
- B. — Chantraine (près Epinal - Vosges) — Les rochers d'Olima : Stratification oblique dans le Grès vosgien.
- C. — Le Haut Barr près Saverne (Vosges) — Stratification entrecroisée dans le Grès vosgien (cf. p. 167).
- D. — Dijon près Saint-Dié (Vosges) — Aspect caractéristique du Grès permien (cf. p. 11).
- E. — Relanges près Darney (Vosges) — Transgression du Conglomérat principal sur le socle granitique; des fragments de « sol fossile » ont été conservés dans les enlèvements de la surface du granite (cf. p. 24).
- F. — Relanges près Darney (Vosges) — La transgression du Conglomérat principal sur le socle granitique débute par une sédimentation tranquille (cf. p. 24).



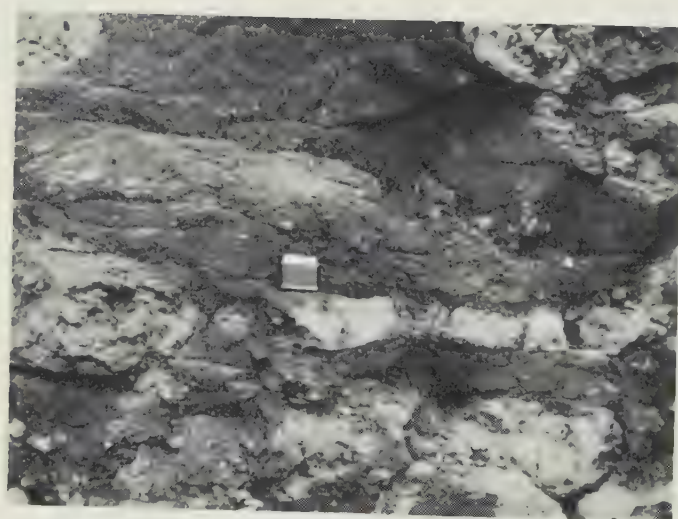
A



B



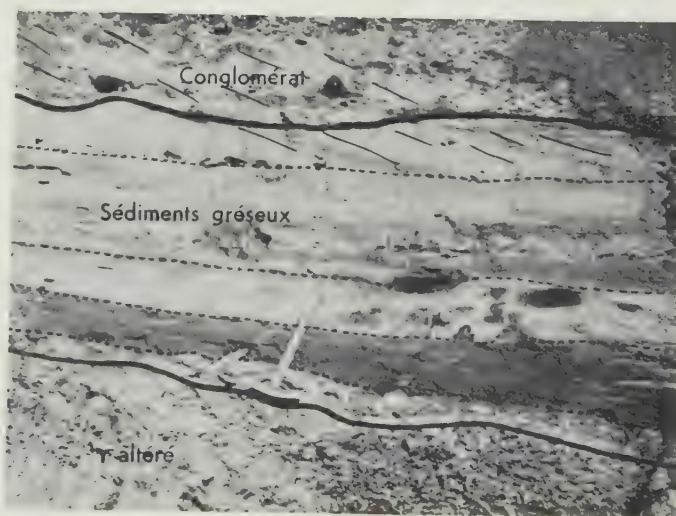
C



D



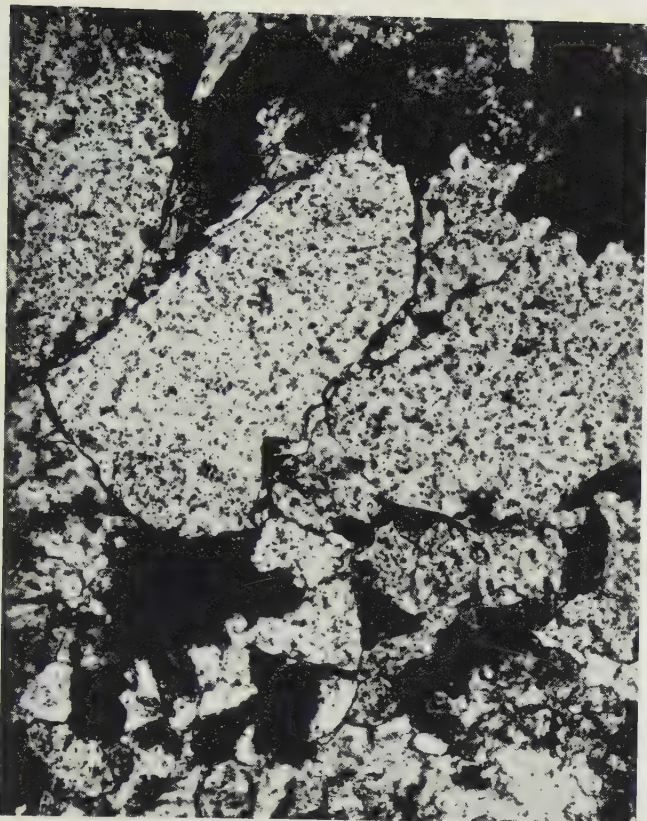
E



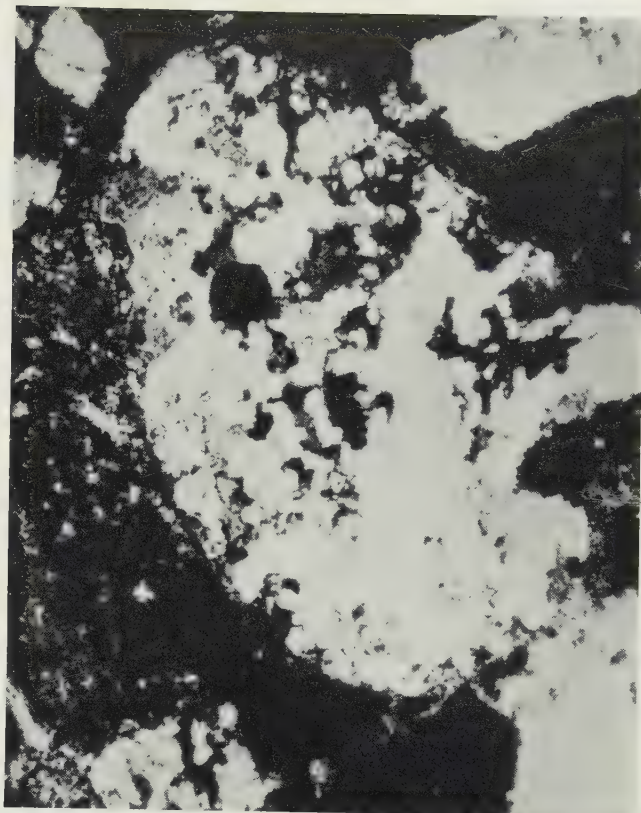
F

PLANCHE V

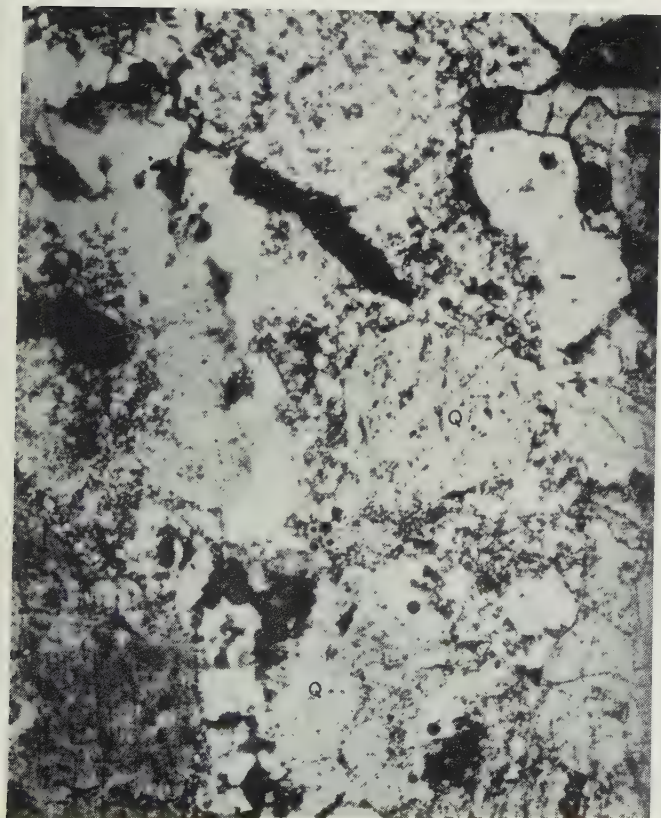
- A. — GRÈS PERMIEN : nourrissage secondaire autour des grains de quartz (L.P. $\times$ 45), Vieux Moulin près de Senones (Vosges).
- B. — GRÈS PERMIEN : grains arrondis de quartz « mosaïque » (L.P., $\times$ 45), Bruyères (Vosges).
- C. — QUARTZITE PERMIENNE: Silicification autour des grains de quartz (L.P., $\times$ 45), Giromagny (Haute-Saône).
- D. — GRÈS D'ANNWEILER : Grains de quartz anguleux; pas de nourrissage secondaire; abondant ciment ferrugineux (L.P., $\times$ 45); Niedersteinbach (cf. p. 19).



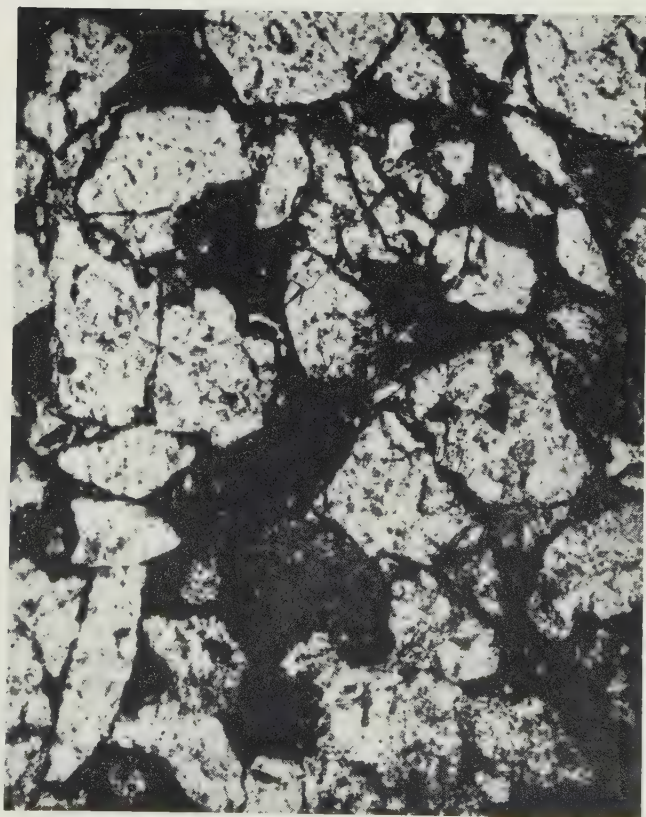
A



B



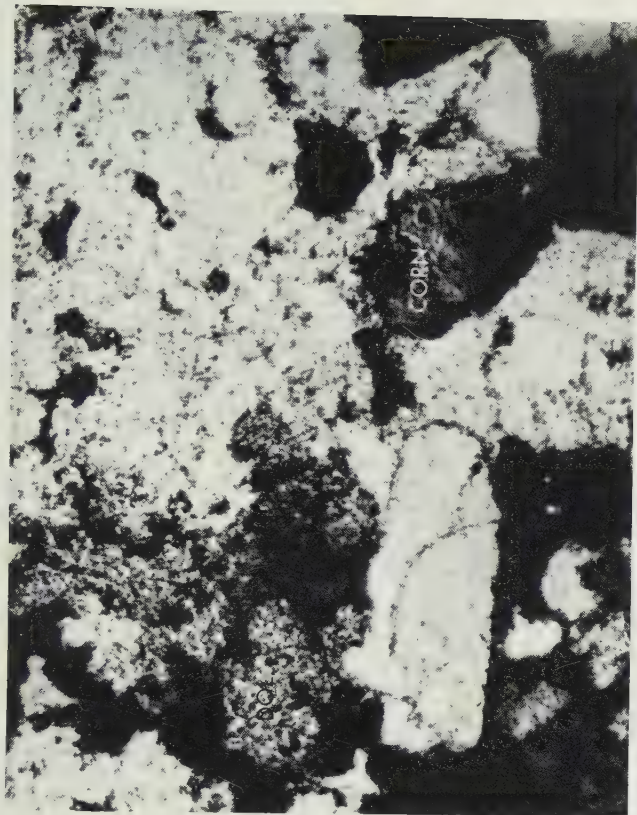
C



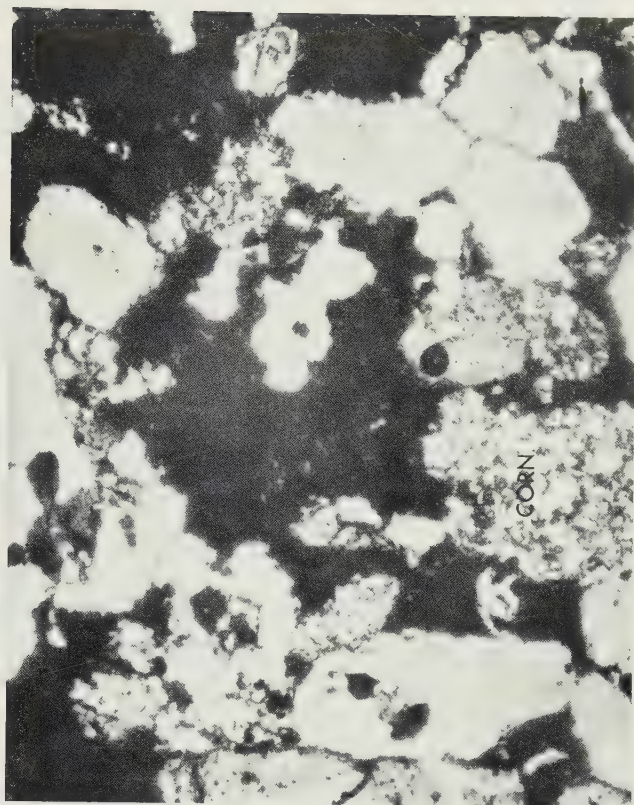
D

PLANCHE VI

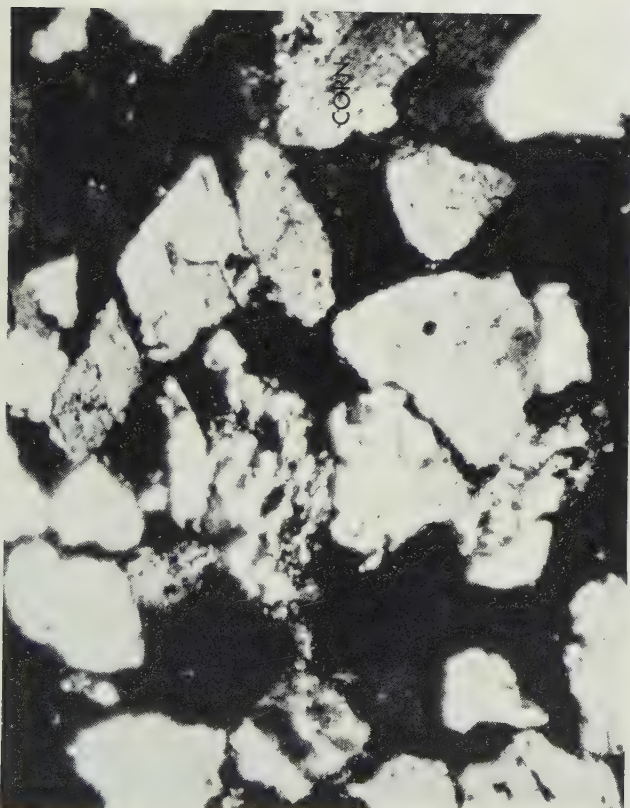
- A. — GRÈS D'ANNWEILER : lame mince taillée dans un nodule dolomitique : dolomie « spongieuse », cornaline détritique et quartz (L.P., $\times 45$), Philippsbourg (Moselle) (cf. p. 19).
- B. — GRÈS VOSGIEN INFÉRIEUR : grains de quartz irréguliers, légèrement nourris; quelques grains de cornaline détritique (L.P., $\times 45$), Philippsbourg (Moselle).
- C. — GRÈS VOSGIEN SUPÉRIEUR : grains de quartz usés; cornaline détritique; ciment ferrugineux (L.P., $\times 45$), Val-et-Châtillon (M.-et-M.).
- D. — CONGLOMÉRAT PRINCIPAL : grains de quartz légèrement nourris et soudés; abondant ciment ferrugineux (L.P., $\times 45$), La Petite Pierre (Moselle).



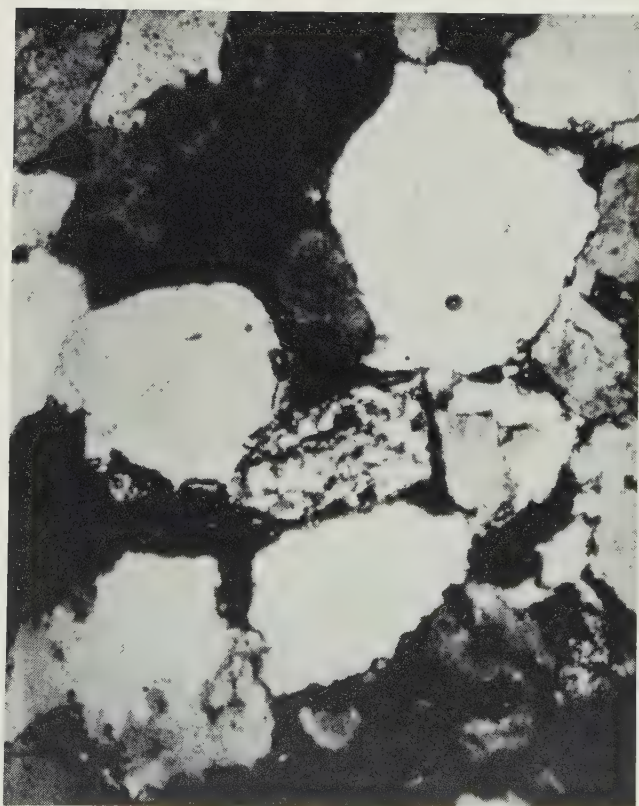
A



B



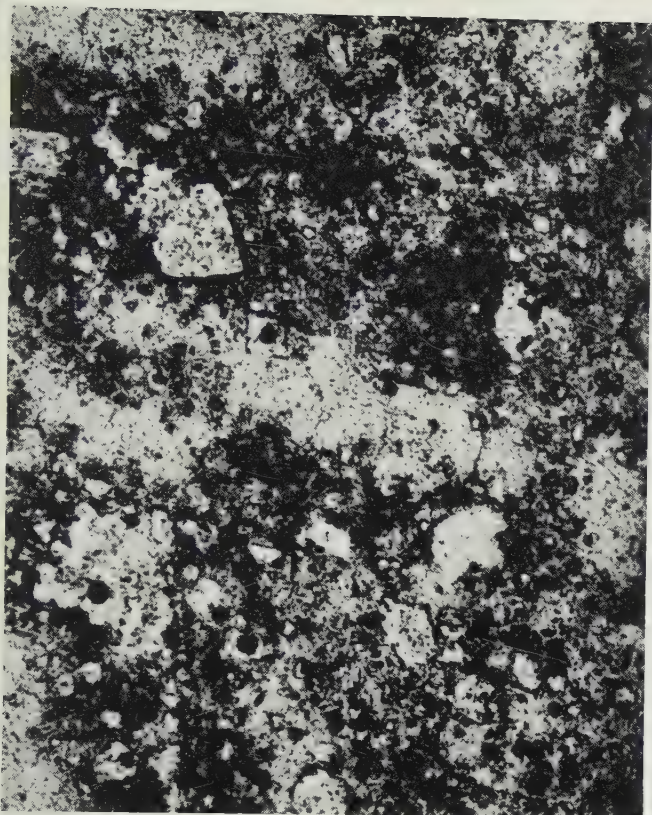
C



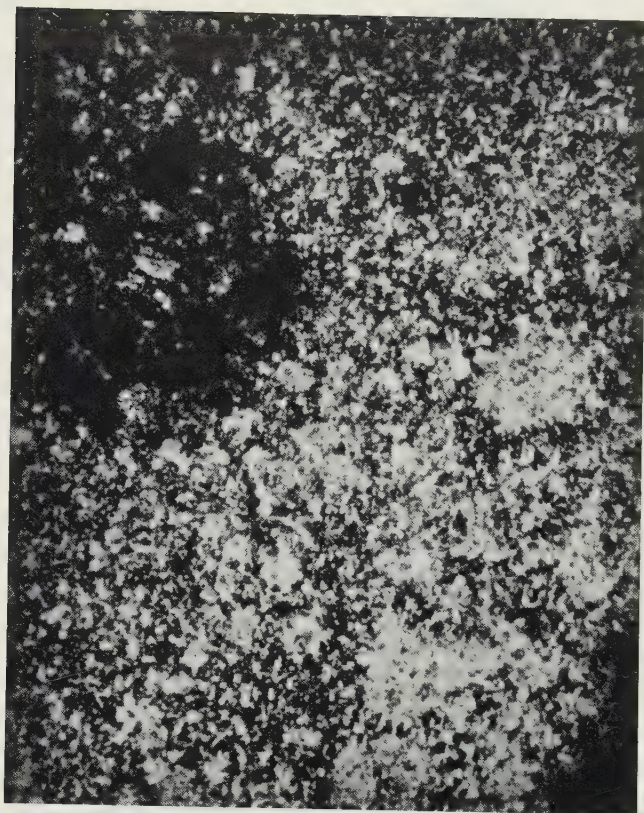
D

PLANCHE VII

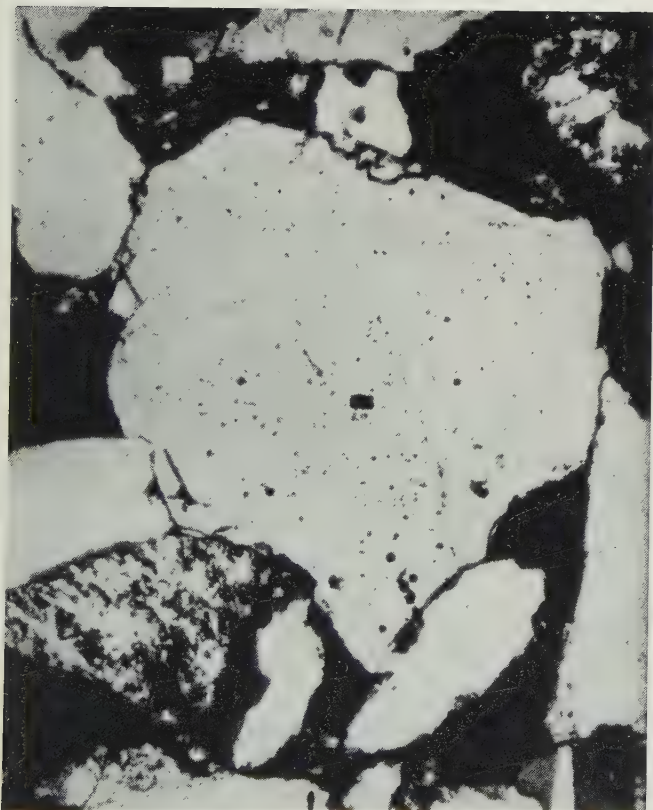
- A. — ZONE-LIMITE-VIOLETTE : les zones carbonatées (parties foncées) sont envahies par la cornaline (parties claires) qui épigénise les rhomboédres de dolomite (L.N., $\times 110$), Claudon (Vosges).
- B. — ZONE-LIMITE-VIOLETTE : front de l'épigénisation des carbonates (en haut à droite) par la cornaline (partie claire); fantômes de carbonates foncés à l'intérieur de la zone à cornaline (L.P., $\times 45$), Claudon (Vosges) (cf. p. 60).
- C. — GRÈS DES COUCHES INTERMÉDIAIRES INFÉRIEURES : grains de quartz de grande taille, non usés et grains de cornaline détritique (L.P., $\times 45$) Saint-Louis-les-Bitche (Moselle).
- D. — ZONE-VIOLETTE-SUPÉRIEURE : nodule dolomitique; ciment envahi par les rhomboédres de dolomite; début d'attaque des grains de quartz par la dolomite : cette attaque « grignote » les grains de quartz et remonte le long des fissures (L.P., $\times 45$), Adamswiller (Moselle) (cf. p. 60 et 72).



A



B



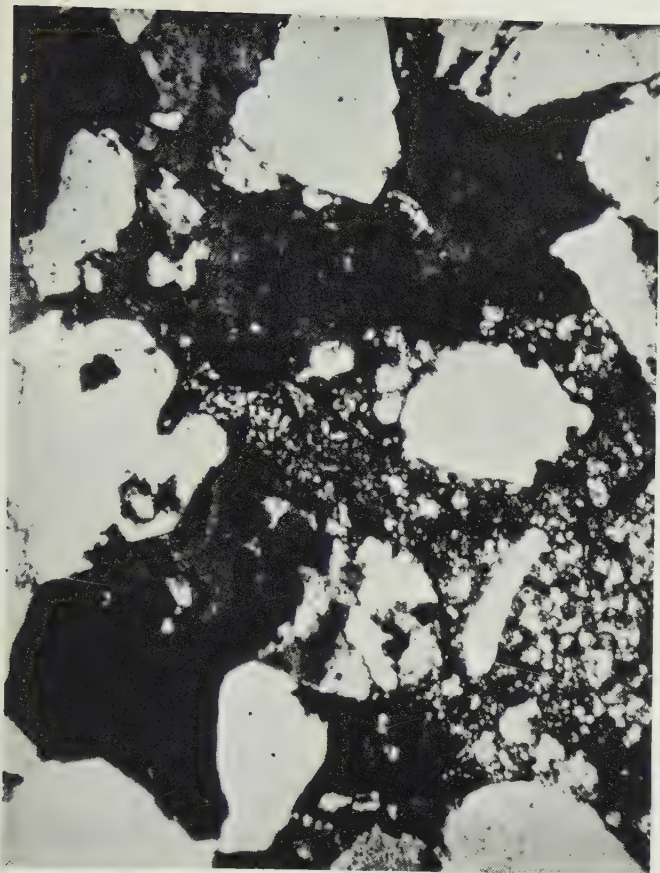
C



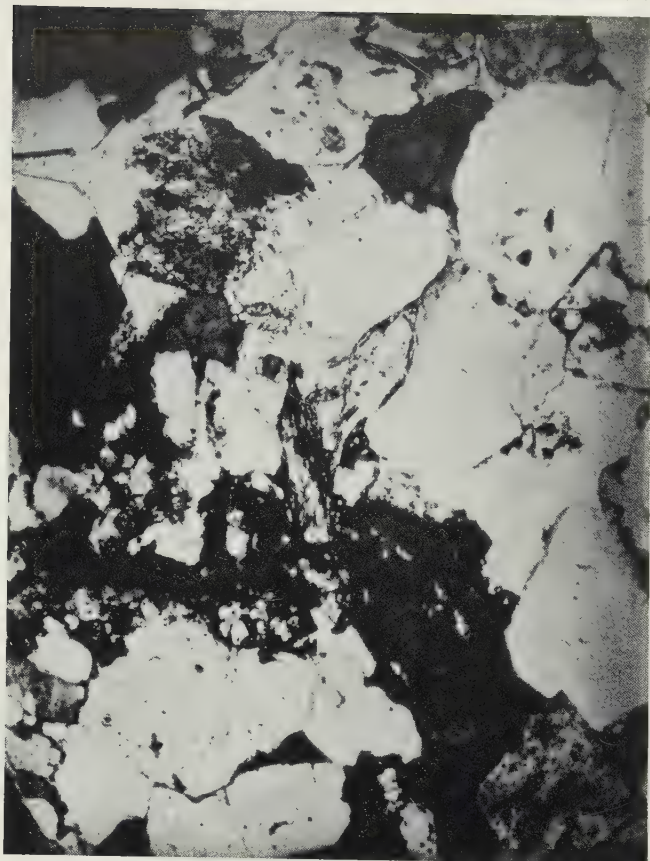
D

PLANCHE VIII

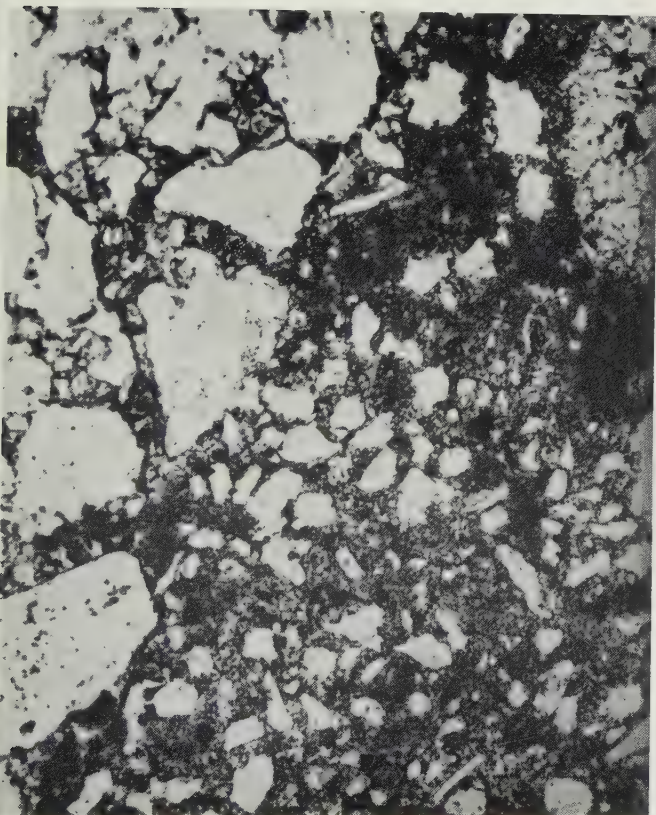
- A. — ZONE-VIOLETTE-SUPÉRIEURE : attaque des quartz et envahissement du ciment ferrugineux par les carbonates (L.P., $\times 45$), Vallerysthal-Trois-Fontaines (Moselle) (cf. p. 72).
- B. — ZONE-VIOLETTE-SUPÉRIEURE : quartz, calcite et cornaline : début d'épigénisation (L.P., $\times 45$), Vallerysthal-Trois-Fontaines (Moselle) (cf. p. 72).
- C. — BANC DE BRÈCHE DOLOMITIQUE SUPÉRIEUR : processus de l'attaque d'un grès par les carbonates :
 - envahissement du ciment par les carbonates (angle NE) et attaque périphérique des grains de quartz;
 - Morcellement des grains de quartz par pénétration de la dolomite le long des fissures (moitié SW) (L.P., $\times 45$), Hangwiller (Moselle) (cf. p. 80).
- D. — GRÈS A VOLTZIA : on remarque la finesse et l'irrégularité du contour des grains qui sont sondés les uns aux autres par suite du nourrissage, le ciment argileux et le litage régulier (L.N., $\times 53$); Deyvillers près Epinal (Vosges).



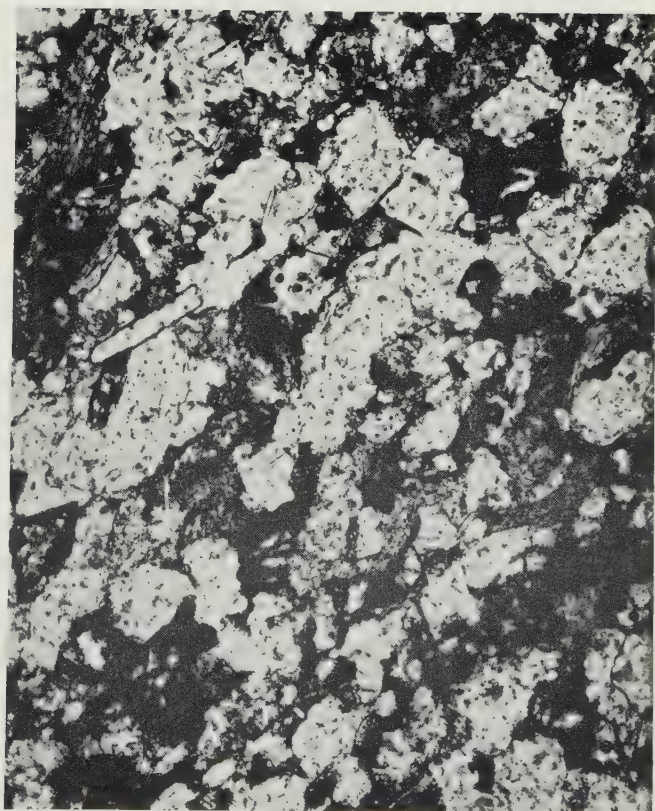
A



B



C



D

PLANCHE IX

MORPHOSCOPIE DES GRAINS DE QUARTZ
(grossissement : $\times 20$ environ)

- A. — GRÈS PERMIEN : Vexaincourt (Vosges).
- B. — GRÈS D'ANNWEILER : Niedersteinbach (Moselle).
- C. — GRÈS VOSGIEN : Bruyères (Vosges).
- D. — CONGLOMÉRAT PRINCIPAL : Saint-Quirin (Moselle).



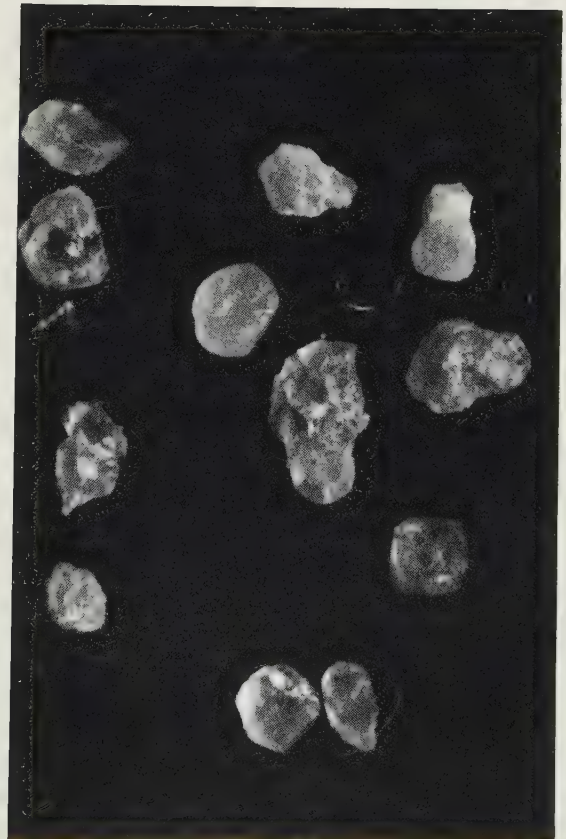
A



B



C

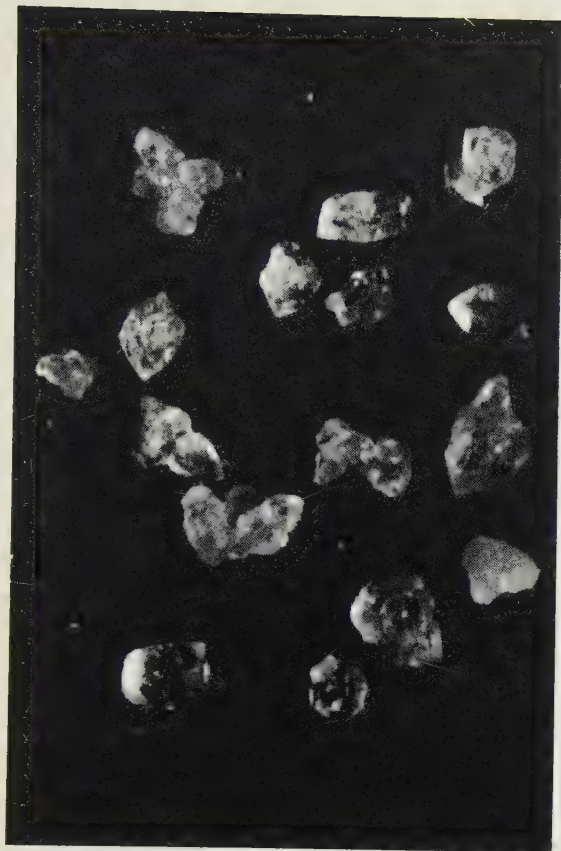


D

PLANCHE X

MORPHOSCOPIE DES GRAINS DE QUARTZ (suite)
(grossissement : $\times 20$ environ)

- A. — GRÈS DES COUCHES INTERMÉDIAIRES INFÉRIEURES : Val-et-Châtillon (M. et M.).
- B. — GRÈS DES COUCHES INTERMÉDIAIRES SUPÉRIEURES : Chaumousey (Vosges).
- C. — GRÈS A VOLTZIA : Luxeuil-Les-Bains (Haute-Saône).
- D. — AGRÉGATS FERRUGINEUX du Grès Vosgien : Bruyères (Vosges).



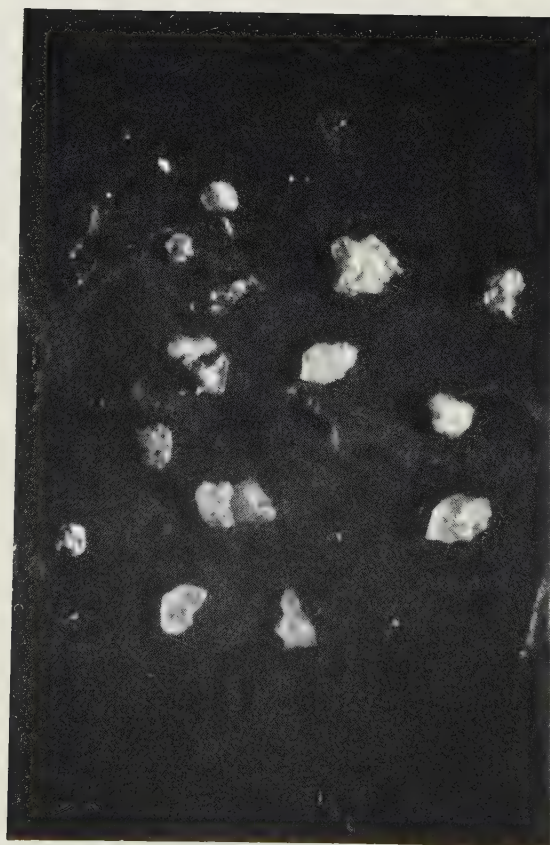
A



B



C



D

INDEX GÉOGRAPHIQUE

A

Abreschwiller 45.
 Adamswiller 71, 91, 100, 176, 178, 186.
 Aillevillers-et-Lyomont 179.
 Albersweiler 20.
 Allarmont 41, 45, 174.
 Allenwiller 83, 105, 178.
 Angomont 40, 45, 55.
 Anjoutey 12.
 Annweiler 17.
 Archette 143, 148, 150, 175, 177.
 Arzviller 90, 103, 178, 192.
 Aubure 173, 193.
 Aydoilles 71.

B

Baccarat 67, 84, 142, 147, 150, 174, 178.
 Badonviller 81, 90, 178.
 Bains-les-Bains 52, 55, 56, 67, 74, 111, 179.
 Bainville-aux-Saules 110, 165, 179.
 Balbronn 83, 107, 178, 193.
 Ban-de-Sapt 169.
 Barville 71, 122, 178.
 Beaumaraais 174.
 Beckingen 172, 174.
 Belfort 46, 50, 58, 67, 71, 74, 81, 83, 126, 170, 171.
 Bellefontaine 25, 75, 143, 148, 175, 177.
 Belmont 177.
 Belmont-sur-Butant 41.
 Belval 12.
 Berus 172, 174, 176.
 Bethingen 172, 176.
 Bettviller 178.
 Bietzen 178.
 Biffontaine 31, 42, 43, 44, 45, 120, 121, 142, 150, 173, 175.
 Bionville 40.
 Birkenwald 177.
 Bitche 27, 30, 31, 32, 33, 39, 67, 77, 81, 84, 87, 99, 120, 158, 162, 172.
 Bleurville 25, 48, 84, 133, 143, 176, 179.
 Bliescastel 178.
 Boersch 147, 173, 174.
 Bonhomme (Col du) 53, 170.
 Bonneval 48.
 Bouillemont 46.
 Bous 172.
 Bouxwiller 27, 30, 55, 58, 71, 91.
 Breitfurt 178.
 Bréménil 40, 81, 90, 106, 165, 178, 193.
 Brotdorf 174, 178.
 Brotschberg (Le) 37, 172.
 Bru 73, 74, 75, 122, 177.
 Bruyères 9, 12, 13, 23, 31, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 53, 55, 58, 65, 67, 71, 74, 77, 81, 90, 91, 119, 120, 138,

139, 143, 148, 156, 161, 162, 169, 170, 173, 185.
 Buchelberg 91, 102.
 Bussièrès-les-Belmont 198.
 Bust 91, 101, 178.
 Butten 178.

C

Celles-sur-Plaine 45.
 Champenay 12.
 Chantraine 173.
 Chapelle (La) 142, 173.
 Charmois-l'Orgueilleux 51, 69, 70, 121, 143, 148, 150, 164, 173, 174, 176.
 Châtillon 40, 44, 65, 70.
 Châtillon-sur-Saône, 48, 81, 165, 177, 179.
 Chaumousey 75, 77, 122, 177.
 Cheniménil 46.
 Chèvre-Roche 46.
 Chicul-Bois 46.
 Chipotte (Col de la) 67.
 Cirey-sur-Vezouse 27, 40, 44, 68, 71, 74, 75, 83, 90, 107, 165, 178, 192.
 Clairgoutte 179.
 Claudon 25, 38, 48, 56, 68, 69, 70, 122, 133, 143, 148, 156, 163, 164, 165, 176, 177, 179, 185.
 Clayeures 194.
 Clecbourg 30, 172.
 Climbach 121, 162, 172.
 Climent (Le) 173.
 Conflans 111, 165.
 Conflans-le-Buisson 179.
 Contrexéville 24, 48, 49.
 Croix de la Sabine 46.

D

Dabo 30, 45, 55, 156.
 Dambach 28.
 Danne-et-Quatre-Vents 142, 147, 174, 176.
 Dannelbourg 90.
 Darney 47, 52, 55, 59, 65, 67, 69, 73, 74, 79, 81, 84, 90, 109, 122, 140, 151, 165, 170, 171, 179, 186, 189, 198.
 Deneuvre 84, 178.
 Destord 179.
 Deycimont 46.
 Deyvillers 77, 110, 143, 148, 150, 179, 193.
 Dimbsthal 177.
 Dinsheim 77, 79, 177.
 Docelles 173.
 Dommartin-les-R. 46.
 Domptail 169, 178.
 Donon (Le) 9, 23, 40, 45, 156, 173.
 Dounoux 143, 150, 174.
 Droiteval 48.
 Duppenweiler 172.

E

Eckartswiller 54.
 Ecromagny 57.
 Einöd 172, 174.
 Elieux (Les) 41.
 Eloyes 46.
 Enfonville 179.
 Ensdorf 172.
 Epinal 13, 44, 46, 55, 58, 65, 67, 69, 73, 74, 75, 77,
 81, 84, 156, 162, 173, 179, 186.
 Ernolsheim-Saverne 172.
 Escles (Le Void d') 73, 76, 169, 177.
 Esley 47.
 Etival 9, 48, 173.

F

Falkenstein 28.
 Faucogney 49.
 Faymont 50, 57, 71, 119.
 Felsberg 178.
 Fenneville 178.
 Fleurey-les-Saint-Loup 111, 179.
 Fontaine-les-Luxeuil 48, 122, 156.
 Fontenay 73, 110, 193.
 Fontenoy-le-Château 48, 56, 59, 67, 77, 122, 163,
 185.
 Forbach 54.
 Fougerolles 57, 81, 169, 176, 177, 179.
 Fraïn 84, 169, 179.
 Frédéric-Fontaine 179.
 Fréland 53, 173.
 Frohmuhl 39, 144, 147, 162, 174.

G

Garrebouurg 36, 37, 79, 81, 172, 174, 177.
 Gézonville 179.
 Giromagny 12, 23, 49, 50, 57, 91, 119, 184.
 Goetzenbrück 33.
 Gras (Le) 54, 138, 147, 192.
 Grand Hohnack (Le) 53, 54, 138, 142, 192.
 Grandvillers 179.
 Granges de Plombières (Les) 177.
 Granges-la-Ville 58, 112, 165, 179.
 Granges-le-Bourg 122.
 Gresswiller 90, 108, 178, 193.
 Guebwiller 52.
 Guerting 176, 177.
 Guisingen 177.

H

Haegen 36, 172, 174.
 Haguenau 27, 76.
 Hangviller 75, 79, 91, 93, 101, 165, 178.
 Harcholins (Les) 169.
 Harol 74, 179.
 Hartzwiller 178.
 Haspelschiedt 172.
 Haustadt 176.
 Haut-Barr 37, 168.
 Haut Poirrot (Le) 46.
 Haut Rapré (Le) 46.
 Haut du Roc (Le) 46.
 Heidelberg 20.
 Heiligenberg 31, 53, 173, 174.
 Hennezel 177.
 Henridorf 172.
 Hilbringen 172.
 Hohenfels 28.
 Hohnack (Le Grand) 53, 54, 138, 142, 192.
 Homburg 54, 174.
 Honzrath 174, 176, 177, 178.
 Hommert 150, 142, 147, 174.
 Hornbach 90.
 Hottwiller 69, 84, 99, 122, 143, 148, 176, 178.
 Housseras 38, 142, 148, 150, 174.
 Houssières (Les) 45.

I

Ingwiller 172.
 Inn 178.

J

Jaegerthal 76.
 Jarménil 23, 46, 51, 162, 163, 175.
 Jeanménil 177.
 Jeuxey 84, 90, 91, 110, 165, 177, 179, 193.
 Jonvelle 179, 184.

K

Katzenthal 28.
 Kaysersberg 53, 173.
 Kaiserslautern 26.
 Kerprich-Hemmersdorf 177.
 Kronthal (Le) 31, 33, 121, 142, 147, 172.
 Kuhberg 192.

L

Labaroche 53, 142, 147, 173.
 Lafrimbole 75, 177.
 Lamarche 84.
 Landstuhl 26.
 Laneuveville-les-Raon 173.
 Lantenot 179.
 Lautzkirchen 172.
 Lauw 58.
 Laval 46.
 Lembach 17, 23, 27, 28, 32, 33.
 Lemberg 77, 122, 164, 177.
 Lépages 44, 46, 121, 139, 140, 142, 148, 175.
 Lerrain 179.
 Liebfrauenberg 176.
 Lichtenberg 30, 172.
 Liederschiedt 34, 69, 70, 142, 147, 172, 174.
 Limbach 174.
 Linge (Le) 10, 52, 53, 54, 192.
 Lobsann 122, 172.
 Lohr 91, 101, 169, 178.
 Lomont 49, 57, 59, 143, 173, 179.
 Longeville-les-Saint-Avoid 89.
 Longue Goutte (La) 46.
 Loutzwiller 76, 122.
 Ludweiler 170.
 Lure 46, 50, 71, 74, 91.
 Lutzelbourg 31, 32, 35, 37, 38, 39, 67, 71, 81, 91, 121,
 142, 147, 163, 164, 172, 174.
 Luxeuil 57, 67, 71, 74, 156, 179.

M

Magny-Jobert 179.
 Malanrupt (Butte de) 46.
 Marlenheim 31, 33, 121, 142, 147, 172.
 Marmoutier 71, 105, 176, 184, 192.
 Mélisey 49, 57, 74, 143, 179.
 Méménil 77, 122, 164.
 Ménarmont 122, 178.
 Ménil-Flin 40, 192.
 Ménil-sur-Belvitte 179.
 Merlebach 71.
 Mervillers 87, 106, 178.
 Métairies de Saint-Quirin (Les) 178.
 Mignafans 58.
 Mimbach 176.
 Mitschdorf 76, 164.
 Moissey 121.
 Molsheim 27, 75, 77, 90, 192.
 Montbronn 178.
 Monthureux-sur-Saône 25, 47, 81, 84, 138, 165, 177,
 179, 189, 198.
 Mont-sur-Meurthe 40.
 Moriviller 194.
 Moussey 45.
 Mutzig 54.

N

Nehwiller 76.
 Neuwiller 33.
 Neufmaisons 178.
 Nideck (Le) 23, 27, 184.
 Niederbronn 17, 19, 21, 23, 28, 29, 33, 172.
 Niederhaslach 108, 142, 147, 156, 161, 165, 178, 193.
 Niederlimberg 172.
 Niedersteinbach 18, 19, 119, 185.
 Niederwiller 77, 79, 103, 178.
 Niederwurtzbach 172.
 Nompatelize 9.
 Nonville 179.

O

Oberhaslach 174.
 Oberlimberg 172, 176.
 Offemont 51, 58, 120, 121, 143, 148, 162, 163, 173, 175, 179.
 Offwiller 172.
 Ormont (Montagne d') 119, 140, 142, 148, 161, 173, 174.
 Osenbach 79, 111, 169, 179.
 Ottwiller 83, 91, 100, 178.

P

Pachten 172.
 Parux 71, 122.
 Petersbach 169, 178.
 Petite Pierre (La) 30, 33, 38, 67, 81, 120, 142, 147, 162, 163, 171, 174.
 Petit Reclos (Le) 41.
 Petit-Rederching 178.
 Pexonne 156, 169, 178.
 Phalsbourg 30, 33, 39, 55, 58, 71, 81, 84, 87, 90, 91, 93, 94, 104, 171.
 Philippsbourg 19, 22, 27, 28, 29, 119, 120, 161, 172.
 Pierre-Percée 40, 45.
 Pigeonnier (Col du) 30.
 Pirmasens 26, 33, 55, 67.
 Plaine 173.
 Plombières 48, 52, 53, 55, 56, 59, 69, 74, 75, 77, 81, 90, 94, 164.
 Pont-du-Bois 179.
 Pont-les-Bonfays 179.
 Porcelette 174, 176, 177, 178.
 Pouxieux 23, 46.
 Provençères-les-Darney 179.

R

Raids (Col des) 11, 91.
 Rahling 178.
 Rambervillers 41, 44, 73, 74, 75, 77, 84, 91, 109, 165, 179.
 Raon-l'Etape 48, 55, 58, 192.
 Raon-sur-Plaine 45, 192.
 Regnévelle 48.
 Rehlingen 177, 178.
 Reichshoffen 17.
 Reinhardmunster 83, 105, 178, 192.
 Reipertswiller 28.
 Relanges 24, 38, 47, 48, 122, 143, 148, 174.
 Remiremont 69.
 Renauvoid 73, 77, 122, 148, 164, 169, 174, 177.
 Ronchamp 23, 49, 58, 81.
 Rosheim 80, 178.
 Rossberg (Le) 53, 170.
 Rotbach 28, 172.
 Roulier (Le) 46.
 Rozelieures 194.
 Ruaux 95.

S

Saint-Avoid 54, 71, 185.
 Saint-Baslemont 48.
 Saint-Benoît-la-Chipotte 174.
 Saint-Dié 9, 11, 13, 23, 40, 42, 44, 55, 58, 65, 67, 140, 158, 161, 173, 185, 192.
 Saint-Germain 91, 112, 168, 169.
 Saint-Jean-Saverne 34, 142, 147, 172, 174.
 Saint-Laurent 48.
 Saint-Léonard 119.
 Saint-Louis 39, 81, 83, 103, 142, 172, 174, 176, 178, 192.
 Saint-Louis-les-Bitche 68.
 Saint-Nabord 25.
 Saint-Nicolas-de-Port 194.
 Saint-Quirin 41, 121, 142, 147, 149, 150, 163, 174.
 Saint-Valbert 57, 179.
 Sainte-Barbe 179.
 Sainte-Hélène 77, 84, 122, 177, 179.
 Sainte-Odile 25, 31, 53, 147, 173, 174.
 Saligney 119.
 Salles 119.
 Sanchey 177, 179.
 Sarrebourg 27, 77, 90, 192.
 Sarrebruck 94.
 Sarreguemines 54.
 Sarrelouis 71.
 Saverne 18, 25, 33, 71, 77, 79, 90, 91, 172, 177.
 Schoenbourg 148, 164, 176, 178.
 Schorbach 87, 178.
 Schwemlingen 172.
 Schweyen 177.
 Selles 179.
 Sénargent 38, 58, 59, 121, 122, 163, 179, 185.
 Senennes (Maison forestière) 28, 48, 56, 59, 67, 122, 143, 148, 163.
 Senones 9, 12, 42, 45, 161.
 Senthain 58.
 Serre (Massif de la) 10, 128.
 Serrecourt 179.
 Soucht 68, 122, 176.
 Soultz-les-Bains 27, 90, 92, 93, 94, 108, 178, 193.
 Stambach 120, 162, 172.
 Stéomont 46.
 Still 75, 77, 79, 164.
 Struth 178.
 Sturzelbronn 33.

T

Thal-près-Marmoutier 178.
 Thann 58.
 Thiéfosse 143, 148.
 Tieffenbach 178.
 Tignécourt 47, 48.
 Trois-Epis 52.
 Turkestein 41, 173.

V

Val-et-Châtillon 31, 38, 44, 45, 67, 68, 69, 70, 71, 81, 83, 107, 142, 143, 148, 163, 173, 174, 176, 178, 193.
 Val d'Ajol 12, 23, 46, 49, 52, 90.
 Vallerythal-Trois Fontaines 71, 79, 104, 165, 176, 177, 186, 192.
 Vancelle (La) 12, 52, 119, 120, 142, 147, 161, 162, 173, 174.
 Vasperviller 71.
 Vécoux 46.
 Vexaincourt 119.
 Vieux-Moulin 12, 161.
 Villé 9, 23, 52, 161.
 Vilsberg 91, 102, 178.
 Vittel 49, 90.
 Viviers-le-Gras 48.
 Voegtlinshoffen 31, 53, 173.
 Void d'Escles (Le) 73, 76, 169, 177.
 Volksberg 142, 147, 163, 174, 178.
 Volmunster 51, 71, 76, 84, 87, 90.

W

Wahlen 172, 174.
Waldhambach 79, 91, 99, 165, 178.
Walschbronn 76, 90.
Walscheid 38, 71, 77, 81, 120, 121, 142, 147, 164,
172, 174, 177.
Wasselonne 24, 76, 83, 87, 90, 91, 92, 93, 105, 165,
192.
Weiler 13, 172.
Weislingen 178.
Wettstein (Col du) 192.

Wineck 28.
Windstein 13, 28, 138, 143, 170.
Wissembourg 13, 17, 18, 23, 30, 33, 65, 119.
Woerth 76.

X

Xertigny 56, 75, 175, 176.

Z

Zinswiller 29, 120, 172.
Zweibrücken 71, 90.

TABLE DES FIGURES

FIG. 1. — Vosges Gréseuses, Palatinat et Sarre : carte des principales localités, découpage cartographique et esquisse géologique générale	1
FIG. 2. — Coupe schématique à travers le Permien et le Buntsandstein dans la Haardt (d'après la fig. 2, p. 45, de A. LEPLA, 1888)	20
FIG. 3. — Sédimentation granodécroissante dans le Grès vosgien : coupe dans la carrière de Grès vosgien située entre Bitche et Lembach	32
FIG. 4. — Contact entre Conglomérat principal et Grès vosgien à Lutzelbourg (Moselle).	35
FIG. 5. — Contact entre Conglomérat principal et Grès vosgien à Garrebourg (Moselle).	36
FIG. 6. — Rapide variation locale de la puissance du Buntsandstein à l'approche d'un seuil : Jarménil, coupe le long de la route d'Eloyes	47
FIG. 7. — Coupe axiale générale de l'anticlinal Esley-Relanges-Tignecourt	47
FIG. 8. — Niveaux taraudés dans les Couches intermédiaires supérieures	78
FIG. 9. — Coupe schématique générale des formations gréseuses des Vosges	96
FIG. 10 p. 119, 11 p. 120, 12 p. 121, 13 p. 122 : Courbes granulométriques.	
FIG. 14. — Variations géographiques de l'indice d'émoussé des galets du Conglomérat principal	130
FIG. 15. — Indice d'émoussé des galets de Conglomérat principal : représentation sous forme de courbes cumulatives	134
FIG. 16. — Variations géographiques de l'indice d'aplatissement des galets du Conglomérat principal	136
FIG. 17. — Variations géographiques de l'indice de dissymétrie des galets du Conglomérat principal	137
FIG. 18. — Représentation conjuguée des indices d'émoussé et des indices d'aplatissement des galets du Conglomérat principal	138
FIG. 19. — Variations géographiques du centile des galets du Conglomérat principal	141
FIG. 20. — Variations géographiques de la nature des galets du Conglomérat principal	145
FIG. 21. — Variations géographiques de la longueur moyenne des galets du Conglomérat principal	146
FIG. 22. — Orientation des galets du Conglomérat principal	150
FIG. 23. — Silicification des grains de quartz du Buntsandstein	155
FIG. 24. — Représentation sous forme d'histogrammes du degré d'usure des grains de quartz du Permien et du Buntsandstein	157
FIG. 25. — Stratification entrecroisée dans le Grès vosgien : Le Haut-Barr près de Saverne (Bas-Rhin)	168
FIG. 26. — Exemple de mesure du sens de l'écoulement des courants dans un banc	168
FIG. 27. — Coupes transversales de la vallée de la Sarre au N. de Mettlach (Sarre)	195

TABLE DES TABLEAUX

	Pages
TABEAU I — Composition minéralogique de quelques échantillons de Grès permien.	12
TABEAU II — Principales divisions du Buntsandstein et ses relations avec le Permien et avec le Muschelkalk	16
TABEAU III — Composition minéralogique de quelques échantillons de Buntsandstein inférieur	18
TABEAU IV — Divisions du Buntsandstein moyen dans le Palatinat et en Lorraine.	26
TABEAU V — Composition minéralogique de quelques échantillons de Grès vosgien inférieur	29
TABEAU VI — Composition minéralogique du Grès vosgien	31
TABEAU VII — Epaisseur du Grès vosgien dans les Vosges Gréseuses septentrionales.	33
TABEAU VIII — Composition minéralogique de quelques échantillons prélevés dans les parties gréseuses du Conglomérat principal	38
TABEAU IX — Epaisseur du Conglomérat principal dans les Vosges Gréseuses septentrionales	39
TABEAU IX <i>bis</i> — Analyses chimiques dans le Grès vosgien	43
TABEAU X — Epaisseur du Buntsandstein moyen (Grès Vosgien + Conglomérat principal) dans les Vosges Gréseuses centrales	45
TABEAU XI — Les subdivisions du Buntsandstein supérieur	66
TABEAU XII — Composition minéralogique des grès des Couches intermédiaires inférieures	68
TABEAU XIII — Mesures comparées des galets des Couches intermédiaires et du Conglomérat principal	70
TABEAU XIV — Composition minéralogique des Grès des Couches intermédiaires supérieures	75
TABEAU XV — Epaisseur des Couches intermédiaires des Vosges Gréseuses	81
TABEAU XV <i>bis</i> — Pourcentages relatifs des principaux constituants du Grès à Voltzia.	84
TABEAU XVI — Analyses chimiques dans le Grès à Voltzia	85
TABEAU XVII — Les niveaux marins du Grès à Voltzia des Vosges Gréseuses (renseignements tirés de la bibliographie)	90
TABEAU XVIII — Les niveaux marins du Grès à Voltzia des Vosges Gréseuses (observations personnelles)	91
TABEAU XIX — Principales caractéristiques des diverses formations du Permien et du Buntsandstein des Vosges Gréseuses	97
	223

TABLEAU XX	— Granulométrie des Grès du Permien et du Buntsandstein	123
TABLEAU XXI	— Les formations du Permien et du Buntsandstein classées par ordre des dimensions croissantes des sédiments	125
TABLEAU XXII	— Indices d'émoussé, d'aplatissement et de dissymétrie des galets du Conglomérat principal des Couches intermédiaires inférieures et du Conglomérat inférieur : classement géographique des affleurements du N. au S.	131
TABLEAU XXIII	— Indice d'émoussé des galets du Conglomérat principal : classement par ordre des valeurs croissantes	132
TABLEAU XXIV	— Indice d'aplatissement des galets du Conglomérat principal : classement par ordre des valeurs croissantes	132
TABLEAU XXV	— Indice de dissymétrie des galets au Conglomérat principal : classement par ordre des valeurs croissantes	132
TABLEAU XXVI	— Méthode du centile; exemple de mesures effectuées sur un lot de dix galets à Lépages (Vosges)	140
TABLEAU XXVII	— Etude du Centile appliquée aux galets du Conglomérat principal, des Couches intermédiaires inférieures et du Conglomérat inférieur	142
TABLEAU XXVIII	— Nature et longueur moyenne des galets du Conglomérat principal, des Couches intermédiaires inférieures et du Conglomérat inférieur	147
TABLEAU XXIX	— Orientation des galets et direction des courants du Conglomérat principal	150
TABLEAU XXX	— Usure des grains de quartz	156
TABLEAU XXXI	— Minéraux lourds du Permien	161
TABLEAU XXXII	— Minéraux lourds du Grès d'Annweiler	161
TABLEAU XXXIII	— Minéraux lourds du Grès vosgien	162
TABLEAU XXXIV	— Minéraux lourds du Conglomérat principal	163
TABLEAU XXXV	— Minéraux lourds de la Zone-Limite-Violette	163
TABLEAU XXXVI	— Minéraux lourds des Couches intermédiaires	164
TABLEAU XXXVII	— Minéraux lourds du Grès à Voltzia	165
TABLEAU XXXVIII	— Répartition de la valeur de la pente des stratifications dans le Buntsandstein	170
TABLEAU XXXIX	— Stratification dans le Conglomérat inférieur	170
TABLEAU XL	— Stratification dans le Grès vosgien	172
TABLEAU XLI	— Stratification dans le Conglomérat principal	174
TABLEAU XLII	— Stratification dans les Couches intermédiaires inférieures	176
TABLEAU XLIII	— Stratification dans les Couches intermédiaires supérieures	177
TABLEAU XLIV	— Stratification dans le Grès à Voltzia	178
TABLEAU XLV	— Teneur moyenne en feldspaths des grès du Permien et du Buntsandstein des Vosges Gréseuses	189
TABLEAU XLVI	— Sens des courants de quelques affleurements de Grès rhétiens	194

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

Sommaire	IV
Avant-propos	V
Introduction	1
Historique de la géologie des Vosges gréseuses	3

PREMIERE PARTIE

ETUDE STRATIGRAPHIQUE	7
-----------------------------	---

CHAPITRE I

LE PERMIEN	9
A. — Les bassins permien	9
1° Le bassin sarrois	9
2° Le bassin palatin	9
3° Le bassin de Saint-Dié et ses annexes	9
4° Le bassin de Villé	9
5° Le bassin du Val d'Ajol	10
6° Le bassin de Guebwiller	10
7° Le bassin de Ronchamp-Chagey	10
8° Le Permien du Massif de la Serre	10
B. — Description du Grès permien	10
1° Couleur	11
2° La dolomie	11
3° Granulométrie	11
4° Caractères pétrographiques	11
a) Examen macroscopique	11
b) Examen microsocpique	11

5° Composition chimique	12
6° Etude morphoscopique	13
7° Stratification	13
C. — Limite supérieure du Permien	13
1° Dans le Palatinat	13
2° En Alsace septentrionale	13
3° Dans les régions plus méridionales	13

CHAPITRE II

LE BUNTSANDSTEIN	15
I. — DÉFINITION ET SYNONYMIE	15
1° Le terme « Buntsandstein »	15
2° Le terme « Grès bigarré »	15
3° Le terme « Werfénien »	15
4° Le terme « Vogésien »	15
II. — SUBDIVISIONS	17
III. — LE BUNTSANDSTEIN INFÉRIEUR	17
A. — Rappel de la structure du Buntsandstein inférieur dans le Palatinat	17
B. — Le Buntsandstein inférieur en Alsace	18
1° Coloration du Grès d'Annweiler	18
2° Analyse granulométrique	18
3° Caractères pétrographiques	18
a) Examen à l'œil nu	18
b) Examen au microscope	18
4° Analyse chimique	19
5° Stratification	20
6° Place du Grès d'Annweiler au sommet du Permien ou à la base du Buntsandstein; limite inférieur du Grès d'Annweiler	20
a) Arguments de A. LEPLA	20
b) Arguments de J. RICOUR	20
α) Arguments paléontologiques	20
β) Arguments morphologiques et cartographiques	21
γ) Arguments pétrographiques	21
δ) La coloration	21
c) Arguments de J. PERRIAUX suggérés par les résultats de l'analyse granulométrique	21
7° Limite supérieure du Buntsandstein inférieur	22
C. — Conclusion à l'étude du Buntsandstein inférieur	22
IV. — LE BUNTSANDSTEIN MOYEN	23
A. — Définition	23
B. — Limite inférieure	23

1° Le Buntsandstein moyen fait suite au Grès d'Annweiler	23
2° Le Buntsandstein moyen repose sur le Permien	23
3° Le Buntsandstein moyen est directement transgressif sur les terrains hercyniens sous-jacents	23
a) Affleurements de Jarménil	23
b) Carrières de Relanges	24
c) Carrière de Bleurville	25
d) Maison Forestière de Senennes	25
e) Carrière des Tréfleries du Blanc-Murget	25
f) Sur la pente orientale du Mont-Saint-Odile	25
g) Conclusion à l'étude de la limite inférieure du Buntsandstein moyen	25
C. — Rappel de la structure du Buntsandstein moyen du Palatinat	25
1° Le Trifelssandstein	25
2° Le Rehbergsandstein	26
3° Le Karlstalsandstein ou Trippstadtsandstein	26
4° Le Hauptkonglomerat	26
D. — Le Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses septentrionales (Basse Alsace et Lorraine septentrionale)	27
1° Le Grès vosgien	27
a) Le Grès vosgien inférieur	27
α) Le Conglomérat inférieur	27
1. — La matrice	28
2. — Les galets	28
3. — Epaisseur	28
4. — Limite inférieure	28
5. — Limite supérieure	28
6. — Place du Conglomérat inférieur : au sommet du Grès d'Annweiler ou à la base du Grès vosgien ?	28
β) Le « Grès vosgien inférieur »	28
1. — La couleur	29
2. — Etude pétrographique	29
3. — Granulométrie	29
4. — Les galets	29
5. — La stratification	30
6. — Conclusion à l'étude du Grès vosgien inférieur	30
b) Le Grès vosgien supérieur	30
1. — La Couleur	30
2. — Etude pétrographique	30
3. — Etude morphoscopique des grains de quartz	31
4. — Granulométrie	31
5. — Stratification	31
6. — Les galets	31
c) Les critères de distinction entre Grès vosgien inférieur et Grès vosgien supérieur	31
α) Enoncé des critères	31
β) Discussion de ces critères	32
1. — Les feldspaths	32
2. — La stratification	32
3. — Les galets	32
4. — Les nodules d'oxyde de manganèse	33
γ) Conclusion	33
d) Limite entre Grès vosgien inférieur et Grès vosgien supérieur	33
e) Epaisseur du Grès vosgien dans les Vosges Gréseuses septentrionales	33

2° Le Conglomérat principal	34
a) Limite inférieure	34
b) Description	37
α) Le ciment	37
1. — La couleur	37
2. — Etude pétrographique	37
3. — Analyses chimiques	38
4. — Etude morphoscopique des grains de quartz	38
5. — Analyse granulométrique	38
6. — La stratification	38
7. — Conclusion à l'étude du ciment du Conglomérat principal	38
β) Les galets	38
1. — Nature des galets	39
2. — Proportion du nombre des galets de quartz par rapport au nombre des galets de quartzite	39
3. — Dimension des galets	39
c) Epaisseur du Conglomérat principal	39
3° Conclusions à l'étude du Buntsandstein moyen dans les Vosges Gréseuses septen- trionales	39
E. — Le Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses centrales : de Cirey-sur-Vezouse à Saint-Dié et à Bruyères	40
1° Le Grès vosgien	40
a) Le Conglomérat inférieur	40
α) La matrice	41
β) Les galets	41
γ) Epaisseur	41
b) Le Grès vosgien proprement dit	41
2° Le Conglomérat principal	44
a) Limite inférieure	44
b) Description	44
α) Le ciment	44
β) Les galets	44
3° Epaisseur du Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses centrales	45
F. — Le Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses méridionales : de Bruyères à Lure et à Belfort	46
1° Les variations d'épaisseur du Buntsandstein moyen dans les Vosges Gréseuses méridionales	46
a) Exemple de variation locale	46
b) Amincissement général du Buntsandstein vers le SW et vers le S	47
α) Les zones anticlinales	47
1. — Profil suivant la crête de l'anticlinal Esley-Relanges-Tignecourt.	47
2. — Profil suivant la crête de l'anticlinal Droiteval-Claudon-Regné- velle-Châtillon-sur-Saône	48
3. — Profil suivant l'axe Saint-Laurent (banlieue S d'Epinal) — Fontenoy-le-Château	48
4. — Sud du département des Vosges et N de la Haute-Saône	48
β) Les bassins	49
1. — Bassin de Vittel-Contrexéville	49
2. — Bassin du Val d'Ajol	49
3. — Bassin de Ronchamp-Giromagny	49
4. — Région de Belfort	50
c) Conclusion à l'étude des variations d'épaisseur du Buntsandstein dans les Vosges Gréseuses méridionales	50
2° Le Grès vosgien	50

3° Le Conglomérat principal	51
a) Limite inférieure	51
b) Description	51
1. — Les variations du ciment	51
2. — Les variations des galets	52
4° Conclusion à l'étude du Buntsandstein moyen des Vosges Gréseuses méridionales.	52
G. — Le Buntsandstein moyen de l'Alsace méridionale et moyenne	52
1° Le Grès vosgien	52
a) Le Conglomérat inférieur	52
b) Le Grès vosgien proprement dit	52
2° Le Conglomérat principal ou Poudingue de Sainte-Odile	53
a) Limite inférieure	53
b) Description	54
H. — Limite supérieure du Buntsandstein moyen : la Zone-Limite-Violette (Z.L.V.).	54
1° Extension et faciès de la Z.L.V. dans les Vosges	55
a) Palatinat et Alsace-Lorraine septentrionales	55
b) Vosges Gréseuses moyennes	55
c) Vosges Gréseuses méridionales	55
α) La Z.L.V. de la région de Darney	55
β) La Z.L.V. de la région de Bains-les-Bains	56
γ) La Z.L.V. de la région de Plombières	57
δ) La Z.L.V. de la région de Luxeuil	57
ε) La Z.L.V. de la région de Mélissey	57
ζ) La Z.L.V. au SE de Lure	57
η) La Z.L.V. de la région de Belfort	58
θ) La Z.L.V. à Ronchamp	58
d) La Z.L.V. en Alsace méridionale	58
e) Conclusion à l'étude de l'extension et du faciès de la Z.L.V. dans les Vosges ..	58
2° Position stratigraphique de la Z.L.V.	59
3° Caractères pétrographiques et géochimiques de la Z.L.V.	59
a) Caractères décelables à l'affleurement	59
1. — La couleur violette	59
2. — Le litage	60
b) Caractères décelables au microscope	60
c) Caractères décelables par l'analyse chimique	60
d) Caractères décelables par l'analyse aux rayons X	60
e) Caractères décelables par l'analyse granulométrique	61
f) Caractères décelables par l'étude morphoscopique des grains	61
g) Conclusion à l'étude pétrographique et géochimique de la Z.L.V.	61
4° Mode de formation et signification paléogéographique de la Z.L.V.	61
a) Résumé des faits précédents	61
b) Phénomènes qui ont abouti à la constitution de la Z.L.V.	62
α) Le phénomène de dolomitisation et le problème de la dolomie	62
β) Le phénomène de la silicification	63
γ) Remaniement et fragmentation des grains de quartz	63
c) Signification paléogéographique de la Z.L.V.	63
5° Conclusion à l'étude de la Z.L.V.	63
I. — Conclusion à l'étude du Buntsandstein moyen	64
V. — LE BUNTSANDSTEIN SUPÉRIEUR	65
A. — Synonymie et subdivisions	65

B. — Les Couches intermédiaires	66
1° Le banc de Brèche dolomitique basal	67
2° Les Couches intermédiaires inférieures	67
a) Aspect en grand	67
b) Couleur	67
c) Analyse granulométrique	68
d) Composition minéralogique	68
e) Composition chimique	68
f) Les galets	68
1. — Fréquence	69
2. — Nature	69
3. — Dimension	69
4. — Morphoscopie	70
g) Stratification	71
h) Epaisseur	71
3° La Zone-Violette-Supérieure	71
a) Extension de la Z.V.S.	71
b) Caractères pétrographiques de la Z.V.S.	72
α) Examen macroscopique	72
β) Examen au microscope	72
c) Analyses chimiques dans la Z.V.S.	72
d) Signification paléogéographique de la Z.V.S.	72
4° Les Couches intermédiaires supérieures	73
a) Aspect en grand	73
b) Couleur	74
c) Nodules d'oxyde de manganèse	75
d) Granulométrie	75
e) Composition minéralogique	75
f) Composition chimique	75
g) Stratification	76
h) Les fossiles	76
i) Les couches violettes	76
5° Limite supérieure des Couches intermédiaires	78
6° Le Banc de brèche dolomitique supérieur	80
a) Extension	80
b) Epaisseur	80
c) Caractères pétrographiques	80
d) Signification paléogéographique	80
7° Puissance des Couches intermédiaires	81
8° Conclusion à l'étude des Couches intermédiaires	81
C. — Le Grès à Voltzia	82
1° Subdivisions et limites	82
2° Caractères morphologiques	83
a) Le Grès à Voltzia inférieur ou Grès à Meules	83
b) Le Grès à Voltzia supérieur ou Grès argileux	83
3° Couleur	83
a) Dans le Grès à Meules	83
b) Dans le Grès argileux	84
4° Dimension des grains	84

5° Caractères pétrographiques	84
6° Composition chimique	85
7° Stratification	86
8° Les fossiles	86
a) Les fossiles végétaux	86
b) Les fossiles animaux	87
α) Les fossiles animaux du Grès à Meules	87
β) Les fossiles animaux du Grès argileux	88
c) Conclusion à l'étude des fossiles dans le Grès à Voltzia	92
9° Limite supérieure du Grès à Voltzia	93
10° Epaisseur du Grès à Voltzia	93
11° Conclusion à l'étude du Grès à Voltzia	94

CHAPITRE III

LE GRÈS COQUILLIER, BASE DU MUSCHELKALK INFÉRIEUR	95
A. — Synonymie	95
B. — Caractéristique du Grès coquillier	95
Conclusion générale à l'étude stratigraphique des Vosges gréseuses	97

CHAPITRE ANNEXE

DESCRIPTION DE QUELQUES CARRIÈRES DE GRÈS A VOLTZIA DES VOSGES GRÉSEUSES	99
--	----

DEUXIEME PARTIE

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE	113
PRELIMINAIRES A L'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE DES DEPOTS DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN	115

CHAPITRE I

ETUDE GRANULOMÉTRIQUE DES SÉDIMENTS GRÉSEUX DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN	117
I. — MÉTHODE D'ÉTUDE	117
II. — LES FAITS ET LEUR INTERPRÉTATION	118
A. — Dimension des grains	118
1° Séparation des sédiments en groupes	118
2° Variations verticales de la taille des grains	118
a) A l'échelle du banc	118
b) A l'échelle de la formation	126
	231

3° Variations horizontales de la taille des grains	126
a) A l'échelle du banc	126
b) A l'échelle de la chaîne	126
B. — Le classement	126
C. — L'assymétrie	127
III. — CONCLUSION : La paléogéographie du Permien et du Buntsandstein vue à travers l'étude granulométrique	127
A. — Les grès permien	127
B. — Le Buntsandstein	127
1° Le Grès d'Annweiler	127
2° Le Grès vosgien	127
3° Les conglomérats	127
4° Les Zones-Violettes	128
5° Le Buntsandstein supérieur	128

CHAPITRE II

ETUDE DES GALETS	129
I. — ETUDE MORPHOMÉTRIQUE DES GALETS	129
A. — Les méthodes	129
B. — Les faits et leur interprétation	129
1° Les galets du Conglomérat principal	129
a) Indice d'émoussé	129
α) Les galets à courbe unimodale	133
β) Les galets à courbe bimodale	133
γ) Les galets à courbe plurimodale	133
ζ) Conclusion à l'étude de l'indice d'émoussé des galets du Conglomérat principal.	133
b) Indice d'aplatissement	135
c) Indice de dissymétrie	135
d) Représentation conjuguée de deux indices	135
2° Les galets du Conglomérat inférieur	138
3° Les galets des Couches intermédiaires inférieures	139
II. — ETUDE DU CENTILE	139
A. — Méthode	139
B. — Les faits et leur interprétation	140
1° Le Centile des galets du Conglomérat principal	140
2° Le Centile des galets des Couches intermédiaires inférieures	143
3° Le Centile des galets du Conglomérat inférieur	144
III. — ETUDE DE LA NATURE ET DE LA LONGUEUR MOYENNE DES GALETS	144
A. — Méthode	144
1° Longueur moyenne des galets	144
2° Nature pétrographique des galets	144

B. — Les faits : nature et longueur moyenne des galets du Conglomérat principal ..	144
1° Variation dans la nature des galets du Conglomérat principal	144
a) La proportion du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz varie avec la dimension moyenne des galets	144
b) La proportion du nombre des galets de quartzite par rapport au nombre des galets de quartz varie avec le lieu	147
2° Variations de la dimension moyenne des galets du Conglomérat principal.	147
a) La dimension moyenne des galets varie verticalement à l'échelle du banc.	147
b) La dimension moyenne des galets varie horizontalement à l'échelle régionale	147
C. — Interprétation des faits précédents	148
D. — Nature et longueur moyenne des galets du Conglomérat inférieur des Couches intermédiaires inférieures	149
IV. — ETUDE DE LA DISPOSITION DES GALETS DU CONLOMÉRAT PRINCIPAL	149
A. — Orientation des galets	149
1° Méthode	149
2° Faits et interprétation	150
B. — Disposition collective des galets	150
V. — Conclusion générale à l'étude des galets	151

CHAPITRE III

ETUDE DES SABLES	153
I. — ETUDE MORPHOSCOPIQUE	153
A. — Méthode	153
1° Travaux consultés	153
2° Préparation des échantillons	153
a) Lavage des échantillons	153
b) Dimensions des grains observés	153
B. — Les faits	154
1° Etude de la fraction non déferruginisée	154
a) Le pigment ferrugineux	154
b) Les agrégats ferrugineux	154
c) Les agrégats siliceux	154
d) Importance quantitative des agrégats	154
2° Etude de la fraction déferruginisée	154
a) Etude des aspects de surface	154
α) Corrosion des grains de quartz	154
β) Silicifications	155
— Les microsilicifications	155
— Les macrosilicifications	155
b) Etude de la forme des grains	155
C. — Interprétation des faits	155
1° Signification du pigment ferrugineux	155
2° Signification des agrégats ferrugineux	156

3° Signification des agrégats siliceux	156
4° Signification des aspects de surface	156
a) Absence de corrosion	156
b) Les silicifications	156
5° Signification de la forme des grains et de leur degré d'usure	157
D. — Conclusion à l'étude morphoscopique des sables	158
II. — ETUDE DES MINÉRAUX LOURDS DU PERMIEN ET DU TRIAS	158
A. — Historique	158
B. — Méthode d'étude	159
C. — Les faits	160
1° Les minéraux essentiels	160
2° Les minéraux accessoires	160
D. — Conclusions	160

CHAPITRE IV

ETUDE DES STRATIFICATIONS	167
A. — La méthode	167
1° La stratification horizontale	167
2° La stratification oblique	167
3° La stratification entrecroisée	167
4° Mesure des stratifications	167
5° Représentation des mesures	168
B. — Les faits et leur interprétation	169
1° Nature des écoulements liquides	169
a) Les stratifications horizontales	169
b) Les stratifications obliques	169
c) Les stratifications entrecroisées	169
d) Passage vertical d'un type de stratification à un autre	169
2° Sens des écoulements	170
a) Dans le Permien	170
b) Dans le Buntsandstein inférieur et moyen et dans les Couches intermédiaires	170
c) Dans le Grès à Voltzia	171
C. — Conclusion	171

TROISIEME PARTIE

ETUDE PALEOGEOGRAPHIQUE	181
-------------------------------	-----

CHAPITRE I

LE CLIMAT AU PERMIEN ET AU TRIAS INFÉRIEUR	183
I. — ETUDE DU PALÉOMAGNÉTISME DES GRÈS DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN	183
A. — La méthode	183
B. — Les faits	184
1° Echantillon de Grès saxonien de Giromagny	184
2° Echantillons de Grès à Voltzia de Marmoutier	184
3° Echantillons de Grès à Voltzia de Jonvelle	184
C. — Interprétation des faits	184
1° Emplacement du pôle N	184
a) Au Permien	184
b) Au Trias	184
2° Latitude des Vosges (Lorraine-Alsace) au Permien et au Trias	185
a) Au Permien	185
b) Au Trias	185
3° Signification climatique de l'étude du paléomagnétisme	185
II. — ETUDE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES GRÈS DU PERMIEN ET DU TRIAS INFÉRIEUR	185
A. — Les faits	185
B. — Conclusions	186
III. — NATURE ET HÉRITAGE DU PIGMENT ROUGE	187
A. — Nature des pigments	187
B. — Le pigment est-il hérité ou intraformationnel ?	187
1° La coloration n'est pas un phénomène superficiel, postérieur à la diagénèse.	187
2° La coloration n'est pas syndiagénétique	187
3° Le pigment est-il syngénétique ou hérité ?	187
IV. — INTERPRÉTATIONS POSSIBLES DE LA COULEUR ROUGE	188
V. — INDICATIONS DE LA PÉTROGRAPHIE DES GRÈS ROUGES PERMOTRIASIQUES	188
VI. — INDICATIONS DE L'ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DES SOLS	189
VII. — Reconstitution du climat des temps permien et triasique inférieur	190

CHAPITRE II

SEUIL VOSGIEN ET BASSIN RHÉNAV AU TRIAS	191
A. — Historique de la question	191
B. — Les variations d'épaisseur du Buntsandstein	192
1° Au Buntsandstein moyen	192
2° A l'époque du Grès à Voltzia	192
3° Conclusion	193
C. — Le sens des courants	193
1° Jusqu'à l'époque du Grès à Voltzia	193
2° A l'époque du Grès à Voltzia	193
D. — Existence de dépôts postérieurs au Buntsandstein moyen sur le sommet des Vosges ?	193
E. — Minéraux lourds et provinces minéralogiques	194
F. — La question du Rhétien	194
G. — Conclusion à l'étude du Seuil Vosgien et du Bassin Rhénan	195

CHAPITRE III

LE PAYSAGE DE L'EST DE LA FRANCE A L'ÉPOQUE DU PERMIEN ET DU BUNTSANDSTEIN	197
A. — La Lorraine et l'Alsace au cours des temps permien	197
B. — La Lorraine et l'Alsace à l'époque du Buntsandstein	197
1° Emplacement et constitution du Continent Gaulois	198
2° Subsidence et sédimentation rythmique dans le Buntsandstein	199
a) A l'échelle du banc	199
b) A l'échelle de la formation	199
3° Le paysage de l'E de la France à l'époque du Grès vosgien	200
4° Le paysage de l'E de la France à l'époque du Conglomérat principal	200
5° Le paysage de l'E de la France à l'époque des Couches intermédiaires	201
6° Le paysage de l'E de la France à l'époque du Grès à Voltzia	201
a) Le Grès à Voltzia est une formation marine	201
b) Le Grès à Voltzia est une formation continentale	202
c) Le vrai paysage du Grès à Voltzia	202
Bibliographie	203
Index géographique	217
Table des figures	221
Table des tableaux	223
Table analytique des matières	225

DEUXIEME THESE :

Proposition donnée par la Faculté :

« Les Proboscidiens fossiles de l'Est de la France »

VU ET APPROUVÉ :

Nancy, le 4 octobre 1961.

Le Doyen de la Faculté des Sciences :

MARCEL ROUBAULT.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

**« Contribution à la Géologie
des Vosges Gréseuses »**

Nancy, le 6 octobre 1961.

*Le Recteur de l'Académie de Nancy,
Président du Conseil de l'Université :*

P. IMBS.

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN - GAP

Dépot légal : 214 - 1961

